

И.А. ДАНИЛОВ, К.В. ЛОТОЦКИЙ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ



И. А. ДАНИЛОВ, К. В. ЛОТОЦКИЙ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ



Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для средних сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям «Электрификация сельского хозяйства» и «Механизация и электрификация животноводства»



Москва «КОЛОС» 1972

Эта книга — учебное пособие для сельскохозяйственных техникумов по специальностям «Электрификация сельского хозяйства» и «Механизация и электрификация животноводства».

В пособии изложены основные сведения из области электрических машин и трансформаторов, применяемых в сельском хозяйстве (назначение, устройство, принцип действия, сущность физических процессов, происходящих в них при различных режимах работы, эксплуатационные свойства, неисправности, неполадки и рекомендации по их устранению). В книгу включены лабораторные работы, предусмотренные программой курса, и примеры решения задач.

Данное пособие — программное, т. е. предполагает применение методов и средств программированного обучения. Каждая тематически обособленная часть основного материала (доля информации в объеме параграфа) сопровождается карточкой самоконтроля, которая в сочетании с соответствующими консультациями не только способствует лучшему усвоению и систематизации полученных знаний, но и позволяет оперативно и надежно осуществлять их проверку. Кроме того, в конце книги приведены карточки, предназначенные для организации контроля готовности учащихся к выполнению работ, и проверочные карточки по курсу.

Структура предлагаемого пособия отвечает организационным формам учебной работы в автоматизированных классах «Аккорд» и в то же время предусматривает возможности использования пособия для самостоятельных занятий, что особенно важно в условиях заочного обучения.

Обучающие тексты написаны К. В. Потоцким, карточки с вопросами и заданиями, консультации, а также рекомендации по организации учебного процесса («От авторов») разработаны И. А. Даниловым.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: Москва, 103031 (К-31), ул. Дзержинского, 1/1в, издательство „Колос“.

Рецензенты: заведующий кафедрой «Электрические машины» МИИСПа доктор технических наук профессор В. Н. Андриянов и преподаватель Московского техникума железнодорожного транспорта Л. А. Частоедов.

Редактор — инженер И. С. Сороко.

О Т А В Т О Р О В

Учебное пособие написано в виде обучающей программы.

Обучающая программа содержит не только изложение сведений, которые должны быть усвоены учащимися, но и учебно-методические материалы, обеспечивающие самоконтроль усвоения информации и исправление возможных ошибок.

Структура предлагаемого программированного пособия соответствует организационным формам учебной работы в автоматизированных классах типа «Аккорд». Вместе с тем предусмотрены возможности использования пособия для самостоятельной работы учащихся в домашних условиях при заочном обучении. Кроме того, предлагаемое пособие может быть использовано при наличии любых средств самоконтроля по методу выборочного ответа.

Предполагается следующий порядок работы:

прочтение минимальной дозы информации (одного параграфа);
выполнение заданий соответствующей карточки самоконтроля (название карточки в точности совпадает с названием параграфа, к которому она относится);

исправление ошибок с помощью преподавателя или в результате чтения консультаций (адрес, или номер, консультации проставлен против каждой строки ответов, предлагаемых для выбора).

Если отсутствуют технические средства самоконтроля, то убедиться в правильности выбранных ответов или обнаружить ошибку можно следующим образом: надо выписать номера консультаций, соответствующие выбранным ответам на пять вопросов карточки самоконтроля, затем взять две последние цифры каждого номера консультации и сложить пять получившихся чисел. Если сумма этих чисел совпадает с числом, указанным возле номера карточки в скобках, то все пять ответов правильны. Если сумма пяти чисел не совпадает с числом, указанным возле номера карточки, то один или несколько выбранных ответов неправильны.

Например, отвечая на вопросы карточки № 18, вы выбираете ответы, которым соответствуют следующие номера консультаций: 189, 101, 81, 209, 424; после этого берете две последние цифры каждого числа: 89, 01, 81, 09, 24; сложив получившиеся числа, находите сумму: 204. Это число совпадает с указанным в скобках возле номера карточки. Следовательно, все пять ответов правильны и можно переходить к следующей дозе информации.

Учащимся настоятельно не рекомендуется обращаться к ответам на вопросы, пока самостоятельно не выполнены задания карточки самоконтроля. Следует помнить, что ответы на вопросы не цель ра-

боты, а лишь средство убедиться в правильности понимания информационного материала.

При организации программированных занятий необходимо четко определить последовательность различных форм учебной работы. Можно рекомендовать следующий график изучения курса, в котором предусмотрена самостоятельная работа учащихся в автоматизированном классе:

вводная лекция к курсу — 60 мин	} 2 академических часа;
вступительная проверка — 30 мин	
вступительная лекция к первому циклу — 2 академических часа;	
работа в автоматизированном классе с обучающими программами под руководством преподавателя — 12—14 академических часов;	
непрограммированные занятия — 2—4 академических часа;	
лабораторные работы — 2—4 академических часа;	
рубежная проверка — 30 мин	} 2 академических часа;
заключительная лекция — 60 мин	
вступительная лекция ко второму циклу — 2 академических часа	

и т. д.

Курс начинается вводной лекцией, предназначенной, как и при традиционном обучении, для общей характеристики предмета. Здесь же следует дать краткие методические указания, как вести конспект, как организовать домашнюю работу, какую литературу использовать для повторения материала, расширения и углубления полученных знаний.

Особенность заключается в том, что вместо обычных 90 мин на вводную лекцию отводится 60 мин, а оставшееся время (30 мин) используется для проведения вступительной проверки.

Вступительную проверку проводят тестовым методом по двум карточкам, каждая из которых содержит пять вопросов с выборочными ответами. Вопросы карточек строятся на материале курсов физики, электротехники и математики.

После вводной лекции и вступительной проверки дальнейшая работа организуется по циклам, структура которых одинакова, а количество определяется объемом курса.

Каждый цикл начинается лекцией, которую в отличие от вводной будем называть вступительной. Вступительная лекция носит главным образом методический характер. Она обращает внимание учащихся на наиболее сложные вопросы, наиболее важные и интересные темы. Отдельные вопросы могут быть рассмотрены полностью, для других только намечаются пути правильного решения. Могут быть выделены и приведены без доказательства наиболее важные формулы с расчетом на то, что полный вывод учащийся проделает самостоятельно при работе с обучающей программой. По отдельным темам может быть рекомендована литература для работы дома с указанием параграфов или страниц, которые целесообразно дополнительно прочитать.

После вступительной лекции начинается основной этап проработки материала первого цикла. На этом этапе организуется самостоятель-

ная работа учащихся в автоматизированном классе под руководством преподавателя. Учащиеся работают с обучающими программами и осуществляют самоконтроль на индивидуальных пультах, преподаватель направляет эту работу, оказывая каждому из них оперативную помощь в нужный момент и в необходимом объеме. В процессе самоконтроля никаких оценок не ставится, поэтому разгадывание кодов не имеет смысла, а выбор ошибочного ответа при работе с обучающей программой не представляет опасности, поскольку ошибка обязательно и немедленно исправляется.

Наряду с занятиями в автоматизированном классе могут быть запланированы непрограммированные занятия по различным темам курса. В учебном пособии запрограммированы все темы. Это сделано с целью расширения возможностей методических комиссий и преподавателей в выборе структуры каждого цикла курса, наиболее полно отвечающей конкретным условиям.

К разряду непрограммированных занятий следует отнести также лабораторные работы, традиционную методику проведения которых ломать не следует. Лабораторная работа и при существующей форме предусматривает самостоятельное выполнение задания, опытную проверку теоретических положений, оценку полученных результатов, строгую отчетность. Все это достаточно полно соответствует идеям программированного обучения. Тесты и контролирующие машины можно использовать для проверки готовности учащихся к выполнению лабораторной работы.

Цикл заканчивается рубежной проверкой и заключительной лекцией. Рубежная проверка проводится в течение 30 мин по двум карточкам, содержащим 10 вопросов, относящихся ко всем темам цикла. Как и на вступительной проверке, ответы даются выборочным методом. Проверка ответов проводится формальным способом при помощи шаблонов или простых электромеханических устройств типа ОПИ-100.

Заключительная беседа (лекция) занимает 60 мин и строится на материалах рубежной проверки и консультаций, проводившихся в автоматизированном классе. На заключительной лекции даются четкие ответы на вопросы, вызывавшие затруднения у большинства группы, разъясняются характерные ошибки, восстанавливаются и напоминаются наиболее важные формулировки, формулы, выводы.

Второй и последующие циклы строятся по тому же плану, что и первый.

В конце учебного пособия приводятся карточки, предназначенные для организации проверок готовности учащихся к выполнению лабораторных работ, и контрольные карточки по курсу.

Эти карточки следует рассматривать как образцы, ориентируясь на которые преподаватель разрабатывает самостоятельно необходимое количество вариантов контрольных карточек. Программированное обучение предполагает объективный и тщательно организованный контроль. Только при наличии объективных характеристик учебного процесса можно намечать пути его совершенствования.

ВВЕДЕНИЕ

История развития электрических машин насчитывает более ста лет. Ее начало можно отнести к 1831 г., когда английский ученый М. Фарадей открыл закон электромагнитной индукции. Это событие сразу же приобрело огромное научное и практическое значение и легло в основу всей современной электротехники.

В 1833 г. русский ученый академик Э. Х. Ленц обобщил открытый М. Фарадеем закон электромагнитной индукции, сформулировав его в виде известного в физике правила Ленца. Академик Ленц открыл принцип обратимости преобразования электрической энергии в механическую, исследовал зависимость между количеством тепла, выделяющимся при прохождении тока через проводник, и силой тока, известную в физике как закон Ленца — Джоуля, объяснил явление реакции якоря, заложив таким образом основы теории электрических машин.

Русский ученый академик Б. С. Якоби в 1834 г. изобрел первый в мире двигатель постоянного тока с вращающимся якорем, а в 1838 г. построил электродвигатель мощностью 0,75 л. с. и применил в качестве лодочного мотора. Якоби изобрел также коллектор для выпрямления тока, открыл появление обратной э. д. с. при вращении электродвигателя. В своих работах по машинному делу Якоби использовал индукционную катушку.

Первые электродвигатели хотя и показали реальную возможность промышленного преобразования электрической энергии в механическую, однако из-за несовершенной конструкции не могли найти практического применения.

Дальнейшее развитие электрических машин, которое примерно до 80-х годов шло по пути совершенствования машины постоянного тока, ознаменовалось рядом крупных достижений конструкторской мысли, позволивших заложить основы электромашиностроения.

Большое значение для расчетов магнитных цепей электрических машин имели исследования магнитных свойств стали и построение кривых намагничивания, выполненные в 1872 г. профессором Московского университета А. Г. Столетовым.

Русский изобретатель П. П. Яблочков в 1876 г. создал однофазный трансформатор с разомкнутым стальным сердечником, используя его для питания изобретенных им дуговых свечей переменного тока — «свечей Яблочкова». По сути он является изобретателем пер-

вого в мире трансформатора и основоположником применения переменного тока в практической электротехнике.

В 1882 г. русский изобретатель И. Ф. Усагин демонстрировал применение трансформатора П. Н. Яблочкова не только для освещения, но и в промышленных целях.

В 1888 г. итальянский физик Г. Феррарис опубликовал статью об открытии явления вращающегося магнитного поля, которое лежит в основе принципа действия двигателей переменного тока. Одновременно с Феррарисом сербский изобретатель Н. Тесла открыл явление вращающегося магнитного поля и построил двухфазный асинхронный электродвигатель.

Началом практического применения переменного тока следует считать 1889 г., когда выдающийся русский изобретатель М. О. Доливо-Добровольский построил первые в мире трехфазный асинхронный двигатель и трехфазный трансформатор.

В 1891 г. Доливо-Добровольским была сооружена первая линия электропередачи трехфазного переменного тока протяженностью 175 км при напряжении 15 тыс. В с применением трехфазных трансформаторов. Электрическая энергия передавалась из г. Лауфена в г. Франкфурт-на-Майне, где на Всемирной электротехнической выставке демонстрировался изобретенный Доливо-Добровольским трехфазный асинхронный двигатель.

Трудно переоценить значение деятельности М. О. Доливо-Добровольского. Ему обязано человечество созданием системы и многих важных технических средств трехфазного тока. Работы Доливо-Добровольского, одного из одареннейших русских инженеров, во многом обусловили быстрый прогресс электротехники переменного тока и промышленного электропривода.

В дореволюционной России электромашиностроительная промышленность практически отсутствовала. Заводы (в большинстве своем сборочные) принадлежали иностранным фирмам; электрические машины здесь собирали из деталей, доставленных из-за границы.

Возникновение и становление энергетической базы нашей страны тесно связано с планом ГОЭЛРО — планом электрификации России, разработанным по прямому указанию и под непосредственным руководством В. И. Ленина и принятым VIII Всероссийским съездом Советов в декабре 1920 г.

Этот план был рассчитан на 10—15 лет и предусматривал строительство 30 тепло- и гидроэлектростанций общей установленной мощностью 1,75 млн. кВт.

План ГОЭЛРО был осуществлен со значительным перевыполнением и в более короткие сроки, чем предусматривалось. Это была первая и очень важная победа молодой советской энергетики.

Сегодня наша страна обладает колоссально мощной энергетической базой, широкой и разветвленной сетью электромашиностроительных заводов, выпускающих новую, совершенную продукцию. Однако потребности народного хозяйства в электрической энергии непрерывно растут. Поэтому Директивы XXIV съезда КПСС по

пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы предусматривают «довести производство электроэнергии до 1030—1070 млрд. киловатт-часов. Ввести в действие на электростанциях мощности в размере 65—67 млн. киловатт, главным образом за счет строительства тепловых электростанций, с установкой на них крупных энергетических блоков. Существенно улучшить технико-экономические показатели работы энергетического оборудования...

Продолжить работы по созданию Единой энергетической системы страны, дальних линий электропередачи переменного тока напряжением 750 и 1150 тыс. вольт и постоянного тока напряжением 1500 тыс. вольт, а также по развитию электрических сетей в сельских районах, повысить надежность электроснабжения сельских потребителей.

Повысить производительность труда в электроэнергетике за пятилетие в 1,4 раза».

Претворение в жизнь решений XXIV съезда КПСС в области электроэнергетики ознаменует новый этап развития народного хозяйства нашей страны.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА



Глава I

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 1. Основные законы электротехники в применении к теории электрических машин

Сущность физического явления электромагнитной индукции, использование которого положено в основу принципа действия самых различных электрических машин и аппаратов, заключается в том, что в проводнике (контуре), перемещающемся в магнитном поле и пересекающем его силовые линии, индуцируется электродвижущая сила — э. д. с. (рис. 1).

Согласно закону электромагнитной индукции, мгновенное значение э. д. с., наведенной в проводнике, когда тот движется в плоскости, перпендикулярной направлению магнитных силовых линий, определяется формулой

$$e = Blv, \quad (1)$$

где e — мгновенное значение э. д. с., В;

B — магнитная индукция, Т;

l — длина активной части проводника, т. е. той его части, которая пересекает силовые линии магнитного поля, м;

v — скорость перемещения проводника относительно магнитного поля, м/с.

В соответствии с другой формулировкой закона электромагнитной индукции наведенная в контуре э. д. с. пропорциональна скорости изменения магнитного потока Φ , пронизывающего контур:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Знак минус в этой формуле показывает, что ток в контуре стремится противодействовать изменению потока, пронизывающего контур. Если магнитный поток Φ , пронизывающий контур, уменьшается, то ток в контуре направлен таким образом, что созданный им магнитный поток стремится увеличить убывающий магнитный поток Φ (и наоборот).

Направление э. д. с. в проводнике определяют по правилу правой руки: если ладонь правой руки расположить в магнитном поле так, чтобы

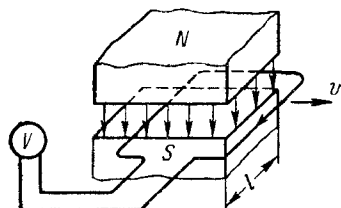


Рис. 1. Наведение э. д. с. в проводнике.

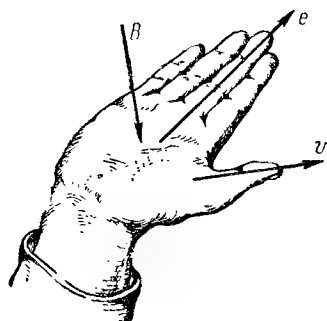


Рис. 2. Правило правой руки.

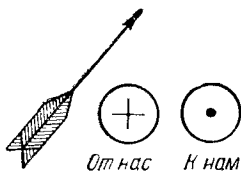


Рис. 3. Условное обозначение направления э. д. с. и тока в проводнике.

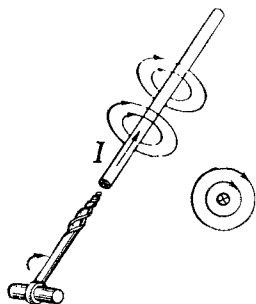


Рис. 4. Правило буравчика.

силовые линии поля были направлены в ладонь, а большой палец, отогнутый в плоскости ладони на 90° , показывал направление движения проводника, то остальные пальцы, вытянутые в плоскости ладони, покажут направление индуцированной в проводе э. д. с. (рис. 2).

Направление э. д. с. и тока в проводе от нас, т. е. за плоскость чертежа, принято обозначать в сечении провода крестиком (+), а к нам — точкой (-), как это показано на рисунке 3.

Направление магнитных силовых линий вокруг провода с током определяют по правилу буравчика: если буравчик как бы ввинчивать в проводник, следуя за током, то направление вращения буравчика совпадет с направлением магнитных силовых линий поля, созданного током (рис. 4).

Если ток в проводе идет от нас (рис. 5), то, по правилу буравчика, магнитные силовые линии вокруг проводника направлены по часовой стрелке. В результате сложения магнитных полей полюсов и проводника усилится магнитное поле справа от проводника и ослабится слева от него. К проводнику будет при-

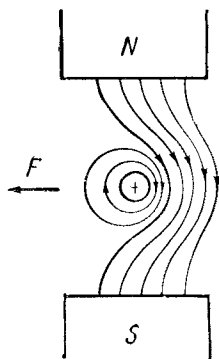


Рис. 5. Взаимодействие проводника с током и магнитного поля полюсов.

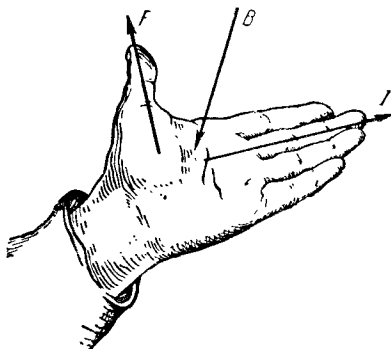
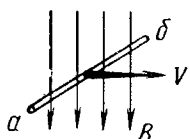
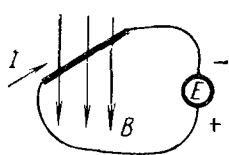


Рис. 6. Правило левой руки.

ложена сила, выталкивающая его в сторону ослабленного магнитного поля, т. е. влево.

КАРТОЧКА № 1 (240)

Основные законы электротехники в применении к теории электрических машин

Чему равна индуцированная э. д. с., если $B = 1 \text{ Т}$, $l = 10 \text{ см}$, $v = 1 \text{ м/с}$?	0,1 В	67
	1 В	66
	10 В	64
	0	36
Какая э. д. с. возникла в контуре, если магнитный поток, пронизывающий контур, равномерно уменьшился от 10 Вб до нуля в течение 2 с?	Постоянная 5 В	35
	Переменная с максимальным значением 5 В	38
	Для решения задачи недостаточно данных	63
Индуцированный ток препятствует	уменьшению магнитного потока, пронизывающего контур	69
	увеличению магнитного потока, пронизывающего контур	68
	изменению магнитного потока, пронизывающего контур	62
Определите направление э. д. с., индуцируемой в проводнике	от точки a к точке b	37
	от точки b к точке a	34
	Влево	39
	Вправо	61
		

Направление этой силы определяют по правилу левой руки: если ладонь левой руки поместить в магнитном поле так, чтобы силовые линии входили в ладонь, а вытянутые пальцы расположить по направлению тока в проводнике, то большой палец, отогнутый в плоскости ладони на 90° , покажет направление действия электромагнитной силы F (рис. 6).

Из рассмотренных основных законов электротехники можно сделать вывод, что электрические машины обратимы, т. е. если в магнитном поле вращать виток, то в нем будет индуцироваться э. д. с., а если пропустить по витку ток, то виток будет вращаться в магнитном поле.

§ 2. Принцип действия генератора

Рассмотрим принцип действия простейшего генератора. Между двумя полюсами N и S магнита помещен виток, намотанный на стальной цилиндр (рис. 7, а). Концы витка присоединены к двум кольцам, на которых установлены неподвижные щетки A и B . Силовые линии поля направлены радиально по отношению к стальному цилиндру. Воздушный зазор между полюсами и цилиндром везде одинаков. При такой конструкции направление движения проводника всегда перпендикулярно к направлению магнитных силовых линий, а магнитная индукция в воздушном зазоре распределена равномерно.

Если при помощи какой-либо внешней силы цилиндр вместе с витком вращать в магнитном поле полюсов, то в соответствии с законом электромагнитной индукции в активных сторонах ab и bc витка индуцируются переменные по величине и направлению э. д. с. Когда виток $abbc$ расположен горизонтально, э. д. с. в нем не возникает, так как виток движется в пространстве вне сферы действия магнитного поля полюсов. Когда же виток движется под полюсами, в его активных сторонах наводятся э. д. с., направления которых могут быть определены по приведенному выше правилу правой руки. Так, если сторона ab витка движется под северным полюсом, то э. д. с. здесь направлена за плоскость чертежа; в это время в проводнике bc э. д. с. направлена противоположно. Процесс изменения во времени индуцированной в витке э. д. с. иллюстрируется графиком, изображенным на рисунке 7, б.

Для выпрямления тока применяют специальное устройство — коллектор. Простейший коллектор представляет собой два изолированных полукольца, к которым

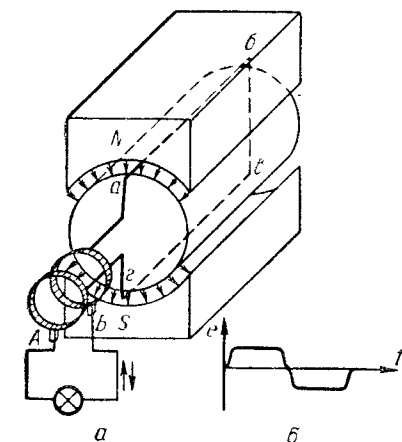


Рис. 7. К объяснению принципа действия простейшего генератора переменного тока:

а — схема генератора; б — график э. д. с.

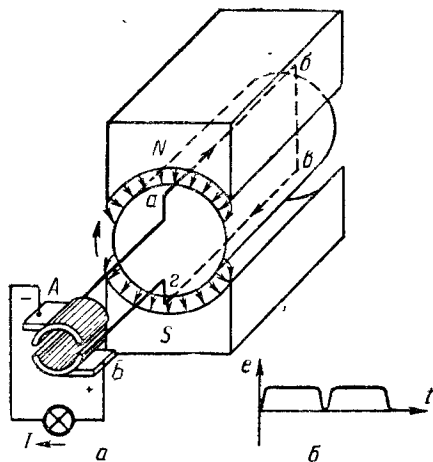


Рис. 8. К объяснению принципа действия генератора постоянного тока: а — схема генератора; б — график э. д. с.

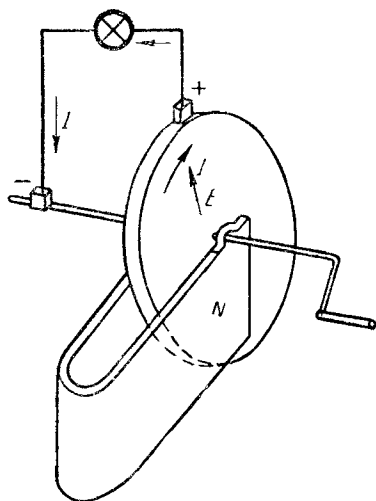


Рис. 9. Принципиальная схема униполярной машины постоянного тока.

присоединяют концы вращающегося в магнитном поле витка (рис. 8, а). Щетки на коллекторе устанавливают так, чтобы они переходили с одного полукольца на другое в тот момент, когда индуцируемая в витке э. д. с. равна нулю.

Щетка А соприкасается всегда с тем полукольцом, провод от которого проходит под северным полюсом, а щетка В — с полукольцом, провод от которого проходит под южным полюсом. Поэтому во внешней цепи ток проходит в одном направлении: от положительной (+) щетки В к отрицательной (—) щетке А. График выпрямленной э. д. с. изображен на рисунке 8, б.

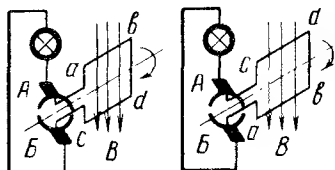
Выпрямленный ток имеет пульсирующий характер. При одном витке значения э. д. с. и тока изменяются от нуля до максимума. Увеличение числа витков, намотанных на барабан, и коллекторных пластин снижает пульсацию выпрямленного тока и э. д. с. Так, в двухполюсной машине с коллектором из 16 пластин пульсация э. д. с. составит менее 1%.

Существуют и бесколлекторные машины постоянного тока, например униполярные. Если в магнитном поле при помощи внешней силы вращать металлический диск, то в нем будет индуцироваться э. д. с. (рис. 9). Применяв правило правой руки, можно убедиться, что вращению диска по часовой стрелке соответствует направление э. д. с. от оси диска к его периферии. Если к щеткам, установленным на оси и по окружности диска, присоединить нагрузку, то в цепи появится постоянный ток.

Для современных униполярных машин, используемых в специальных установках, характерны сравнительно небольшие напряжения (3—7 В), но весьма значительные токи (до 150 000 А).

Принцип действия генератора

В каком направлении проходит ток через нагрузку?



1) от A к B ; 2) от A к B

58

1) от B к A ; 2) от B к A

40

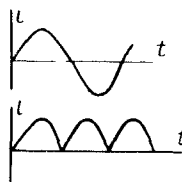
1) от A к B ; 2) от B к A

33

1) от B к A ; 2) от A к B

1

Какую форму имеет ток, который протекает через лампу, показанную на предыдущем рисунке?



3

32

У какого генератора больше пульсации напряжения на щетках, если при прочих равных условиях второй генератор имеет в два раза больше коллекторных пластин, чем первый?

У первого

122

У второго

71

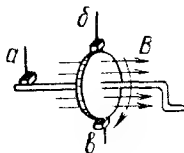
Пульсации одинаковы

57

Для определенного ответа недостаточно данных

41

Чему равно напряжение между щетками b и e , если между щетками a и b действует напряжение U ?



U

31

$2U$

2

0

4

Определите полярность напряжения, действующего между щетками a и b (см. предыдущий вопрос)

Плюс — на щетке a , минус — на щетке b

30

Плюс — на щетке b , минус — на щетке a

42

Для решения задачи недостаточно данных

56

§ 3. Устройство машин постоянного тока

Машина постоянного тока (рис. 10) состоит из следующих основных частей: станины, полюсов, якоря с коллектором, подшипниковых щитов с подшипниками, щеткодержателей со щетками.

Станина 6 — это замкнутый магнитопровод, обычно выполненный из стали. К внутренней части станины прикрепляют главные и дополнительные полюса. В нижней наружной части станины имеются лапы, служащие для крепления машины к фундаменту. К бокам станины присоединены подшипниковые щиты, в которых установлены подшипники (обычно подшипники качения — роликовые или шариковые).

Главные полюса, прикрепляемые болтами к внутренней части станины, предназначены для создания магнитного потока.

Сердечник 4 (рис. 11) главных полюсов набирают из отдельных изолированных друг от друга листов электротехнической стали. Со стороны якоря сердечник полюса имеет уширение 3, называемое полюсным наконечником или башмаком, посредством которого создается требуемое распределение магнитной индукции в воздушном зазоре. На сердечник полюса надета катушка возбуждения 2, выполненная на стальном или картонном каркасе из изолированного медного провода. В машинах небольшой мощности сердечники полюсов изготовляют из литой стали, а обмотку возбуждения — без каркаса.

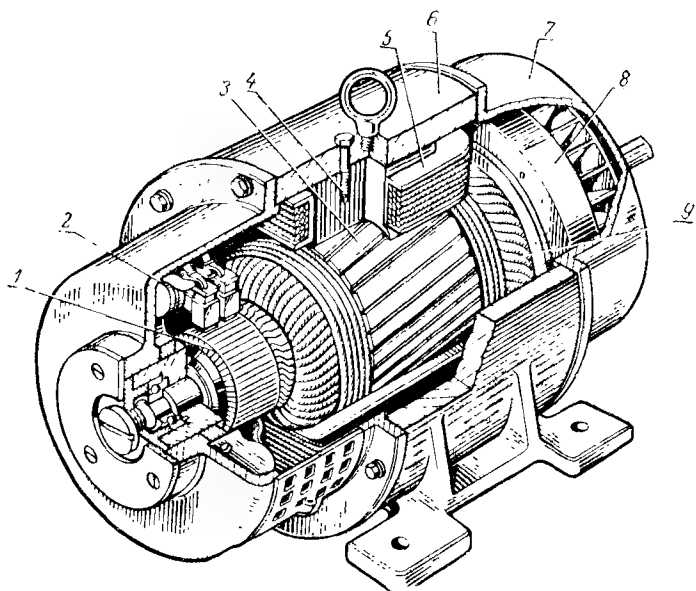


Рис. 10. Устройство электрической машины постоянного тока:

1 — коллектор; 2 — щетки; 3 — сердечник якоря; 4 — сердечник главного полюса; 5 — полюсная катушка; 6 — станина; 7 — подшипниковый щит; 8 — вентилятор; 9 — обмотка якоря.

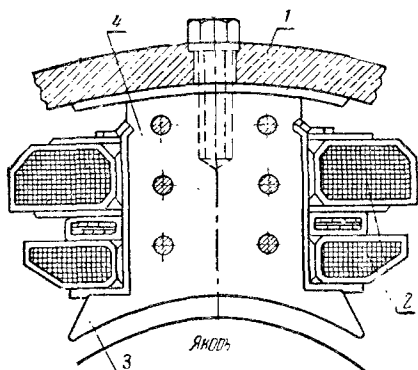


Рис. 11. Основной полюс:

1 — станина; 2 — катушки возбуждения;
3 — поллюсный наконечник; 4 — сердечник полюса.

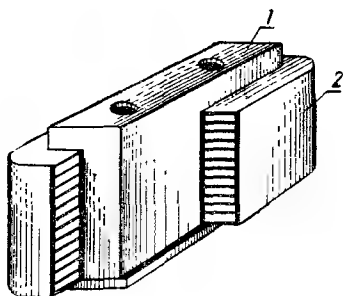


Рис. 12. Добавочный полюс:

1 — сердечник; 2 — катушка.

Между главными располагают добавочные полюса (рис. 12), назначение которых объяснено в § 2 гл. IV.

Якорь (рис. 13) — вращающаяся часть машины постоянного тока, в которой индуктируется э. д. с., — набирают из отдельных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга для уменьшения потерь от вихревых токов.

В состав листовой электротехнической стали, применяемой для изготовления электрических машин и трансформаторов, входит кремний (силиций). Присадка кремния увеличивает удельное электрическое сопротивление стали, что способствует уменьшению потерь на вихревые токи, но одновременно кремний ухудшает механические свойства стали, делает ее хрупкой.

В электромашиностроении применяют преимущественно следующие марки сталей: Э11, Э12, Э21, Э31, Э310, Э320, Э330, Э41, Э42, Э43.

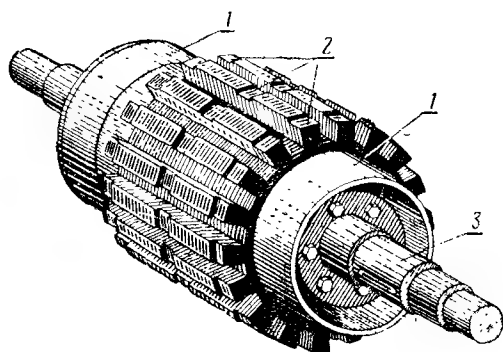


Рис. 13. Якорь без обмотки:

1 — нажимная шайба; 2 — место для бандажки;
3 — место для коллектора.

Расшифровываются эти условные обозначения следующим образом: Э — электротехническая сталь, первые за буквой цифры 1, 2, 3, 4 обозначают степень легированности стали кремнием (1 — слаболегированная — 0,8 — 1,8% кремния, 2 — среднелегированная — 1,8 — 2,8% кремния, 3 — повышено легированная — 2,5 — 4% кремния и 4 — высоколегированная — 4 — 4,8% кремния); вторые за буквой

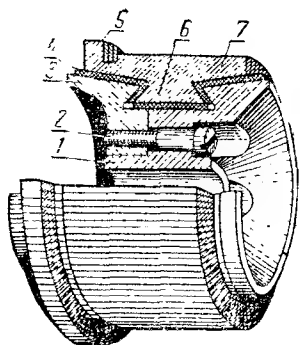


Рис. 14. Коллектор:

1 — корпус коллектора; 2 — стяжной болт; 3 — нажимное кольцо; 4 — миканитовая изоляция; 5 — место припайки проводов обмотки; 6 — «ласточкин хвост»; 7 — ламель.

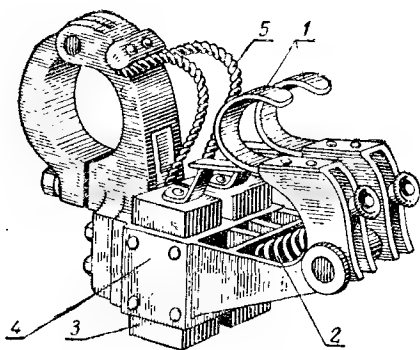


Рис. 15. Щеткодержатель:

1 — нажимные пластины; 2 — пружина; 3 — щетки; 4 — обойма щеткодержателя; 5 — гибкий медный тросик.

цифры 1, 2, 3 обозначают качество стали в отношении удельных потерь в ней (чем больше цифра, тем меньше потерь); третья за буквой цифра 0 обозначает, что сталь холоднокатаная, текстурированная.

В круглых стальных листах выштампованы отверстия, которые, когда якорь собран, образуют пазы и центральное цилиндрическое отверстие для вала. В пазы укладывают обмотку из изолированного медного провода. Обмотка отделена от поверхности пазов специальной пазовой изоляцией из прессшпана, лакоткани и т. п. Пазы закрывают деревянными клиньями и поверх якоря наматывают проводочные бавдажи.

К о л л е к т о р, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный, напрессован на вал якоря, а к его пластинкам припаяны провода обмотки якоря.

Коллектор изготавливают из медных (с примесью кадмия около 1%) пластин 7, прочно прикрепленных стяжными болтами к корпусу стальной втулки 1 (рис. 14). В нижней части 6 пластинам придана форма «ласточкина хвоста». Пластины, также называемые ламелями, изолированы одна от другой и от втулки миканитовой (на основе слюды, склеенной лаками) изоляцией 4.

Вал якоря изготавливают из высокосортной стали. На вал тугой посадкой надевают подшипники качения, которые помещаются в подшипниковых щитах. Таким образом, вал якоря при вращении через подшипники опирается на подшипниковые щиты. На него насаживают вентилятор, предназначенный для охлаждения машины, а также шкив или соединительную муфту.

Скользящий контакт между вращающимися и неподвижными частями машины создают при помощи коллектора и щеток (обычно угольно-графитовых, а в машинах постоянного тока низкого напряжения — металло-угольных).

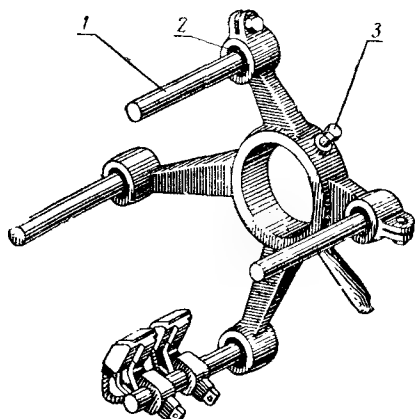


Рис. 16. Щеточная траверса:

1 — палец траверсы; 2 — изоляционная втулка; 3 — стопорный болт траверсы.

назначенный для соединений проводов, отходящих от обмоток полюсов машины и от щеток.

Клеммный щиток имеет панель из изоляционного материала, на которой установлены контактные болты. Щиток закрывают сверху крышкой.

На заводском щитке указаны: номинальная мощность машины (кВт), напряжение (В), скорость вращения вала якоря (об/мин), сила тока (А), режим работы, коэффициент полезного действия, наименование завода-изготовителя, заводской номер машины, год выпуска, номер ГОСТа, масса и другие данные в зависимости от типа и назначения машины.

КАРТОЧКА № 3 (179)

Устройство машин постоянного тока

Якорем называется	вращающаяся часть машины	29
	та часть машины, в которой индуцируется э. д. с.	41
Почему сердечник вращающегося якоря набирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга?	Из конструктивных соображений	14
	Чтобы увеличить сопротивляемость материала центробежным силам инерции	28
	Чтобы уменьшить тепловые потери в машине	47

С какой целью в электротехническую сталь, применяемую для изготовления электрических машин, добавляют кремний?	Для уменьшения удельной электропроводности	55
	Для повышения механической прочности	73
Укажите марку повышено легированной холоднокатаной электротехнической стали, имеющей малые удельные потери	Э43	54
	Э320	46
	Э340	27
	Э330	43
Назовите деталь, не принадлежащую коллектору	Ламель	16
	Миканитовая прокладка	26
	Втулка	48
	Пружина	53

§ 4. Серии машин постоянного тока, выпускаемых заводами СССР

Советские электромашиностроительные заводы выпускают большое количество машин постоянного тока различного типа и назначения.

Наши заводы изготовляют машины постоянного тока серии П мощностью от 0,13 до 200 кВт (в соответствии с ГОСТ 9632—67). В серии П принята шкала мощностей с коэффициентом нарастания близким к 1,25.

Электродвигатели этой серии рассчитаны на номинальные напряжения 110, 220 и 440 В и номинальные скорости вращения 600, 750, 1000, 1500, 2200 и 3000 об/мин, а генераторы — на номинальные напряжения 115, 230 и 460 В и номинальные скорости вращения 970, 1450 и 2850 об/мин.

Электродвигатели серии П предназначены для использования в электрических приводах, требующих широкого и плавного регулирования скорости вращения, а генераторы — для питания цепей постоянного тока.

По сравнению с машинами ранее выпускавшейся серии ПН масса машин серии П меньше в среднем на 26%, а расход меди и электротехнической стали снижен на 25%.

Наша электропромышленность изготовляет большое количество автотракторных генераторов и двигателей (стартеров) постоянного тока на напряжения 12 и 24 В и достаточно широкого диапазона мощностей.

Серии машин постоянного тока, выпускаемых заводами СССР

В каком случае машина постоянного тока не применяется?	Двигатели для электрифицированного транспорта	23
	Возбудители синхронных генераторов	17
	Системы электроснабжения автомобилей	20
	Источники питания сварочных трансформаторов	22
Номинальное напряжение машины постоянного тока серии ПН равно 230 В. Какая это машина?	Генератор	223
	Двигатель	224
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	257
Две машины серии П имеют номинальные напряжения 110 и 115 В. Какие это машины?	Двигатели	326
	Генераторы	347
	Двигатель и генератор	314
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	270
Машина постоянного тока серии ПН весит 100 кг. Сколько весит аналогичная машина серии П?	100 кг	82
	74 кг	51
	125 кг	49
Можно ли установить в качестве источника резервного электропитания шестивольтовый аккумулятор на автомобиле, где основным источником электроэнергии является генератор постоянного тока с номинальным напряжением 12 В?	Можно	21
	Нельзя	19

Глава II

ОБМОТКИ ЯКОРЯ И ИХ Э. Д. С.

§ 1. Основные элементы обмоток

Современные машины постоянного тока выполняют только с якорями барабанного типа, в которых проводники укладывают в пазы, расположенные на наружной поверхности сердечника якоря.

С е к ц и я (рис. 17) — основным элементом обмотки якоря — называют часть его обмотки, состоящую из нескольких витков и соединенную с двумя коллекторными пластинами, которые следуют друг за другом по схеме обмотки.

Две активные стороны секции уложены в пазы якоря и связаны между собой лобовыми соединениями.

Стороны секции располагают так, чтобы одна из них лежала под северным полюсом, а другая — под южным, т. е. на расстоянии полюсного деления от первой. Тогда э. д. с., индуцируемые в проводах секции, складываются между собой. **П о л ю с н ы м д е л е н и е м** τ называют часть окружности якоря, приходящуюся на один полюс (рис. 18).

Обмотка якоря представляет собой замкнутую систему, в которой секции соединены последовательно, для чего к каждой коллекторной пластине припаивают конец одной секции и начало другой, следующей за ней по схеме обмотки.

Число пар полюсов в машине принято обозначать буквой p , тогда число полюсов равно $2p$.

Если величину полюсного деления умножить на число полюсов, то их произведение дает длину окружности якоря, т. е.

$$2p\tau = \pi D,$$

где D — диаметр якоря, м.

Воображаемую линию, проходящую посередине между полюсами, называют **г е о м е т р и ч е с к о й н е й т р а л ь ю**. При одной

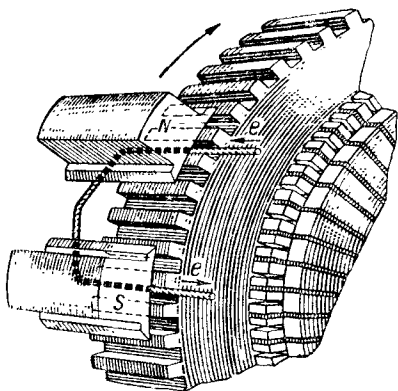


Рис. 17. Секция обмотки якоря.

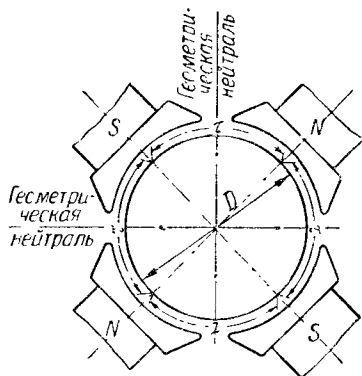
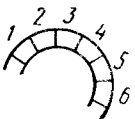


Рис. 18. Полюсные деления.

Основные элементы обмоток

Секцией называют	часть обмотки якоря	497
	часть обмотки якоря, заключенную между соседними коллекторными пластинами	469
	часть обмотки якоря, заключенную между двумя коллекторными пластинами	435
Первая секция уложена в первом и четвертом пазах. Определите ширину секции 	1	158
	2	132
	3	95
	4	74
Вторая секция уложена в третьем и шестом пазах. Определите второй частичный шаг	$y_2 = 1$	228
	$y_2 = 2$	269
	$y_2 = 3$	292
	$y_2 = 4$	333
Определите -результатирующий шаг для рассматриваемой обмотки	$y = 1$	377
	$y = 2$	379
	$y = 3$	417
	$y = 4$	451
Секция обмотки припаяна ко второй и четвертой коллекторным пластинам. Определите шаг обмотки по коллектору 	$y_K = 1$	482
	$y_K = 2$	512
	$y_K = 3$	542
	$y_K = 4$	572

паре полюсов геометрическая нейтраль перпендикулярна оси полюсов. При большем числе пар полюсов количество нейтральных линий равно числу пар полюсов. На нейтрали магнитная индукция B при отсутствии нагрузки равна нулю.

В обмотках якоря различают следующие шаги по якорю (рис. 19):

первый частичный шаг y_1 — расстояние между началом и концом секции, т. е. ширина секции;

второй частичный шаг y_2 — расстояние между конечной стороной одной секции и начальной стороной следующей за ней по схеме обмотки;

результатирующий шаг y — расстояние между начальными сторонами двух секций, следующих одна за другой по схеме обмотки;

шаг обмотки по коллектору y_k — расстояние между началом и концом секции по коллектору.

Шаги обмотки по якорю измеряют числом пропущенных промежутков между пазами, а шаг по коллектору — числом пропущенных изоляционных прослоек.

В современных машинах ширину секции делают меньше величины полюсного деления ($y_1 < \tau$), что позволяет экономить медь в лобовых соединениях и улучшить условия коммутации. Такую секцию называют *секцией с укороченным шагом*.

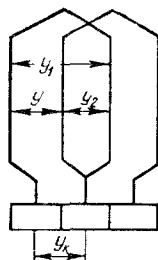


Рис. 19. Шаг петлевой обмотки.

§ 2. Простая петлевая (параллельная) обмотка

Петлевой обмотку называют потому, что ее секции имеют форму петли (см. рис. 19). В простой петлевой обмотке начало и конец секции присоединены к рядом расположенным коллекторным пластинам.

Обмотки якорей машин постоянного тока делают двухслойными. В каждом пазу такой обмотки располагаются две активные стороны двух различных секций: начальная сторона одной секции вверху паза и конечная сторона другой — внизу паза.

При расчетах многослойных обмоток применяют понятие *элементарного паза*, под которым понимают паз с двумя активными сторонами. В многослойной обмотке в одном реальном пазу может быть несколько элементарных пазов.

Так как в секции есть две активные стороны, то каждой секции соответствует один элементарный паз, и на каждую секцию придется одна коллекторная пластина, поскольку к каждой пластине присоединяют начало одной секции и конец другой. Поэтому для любой многослойной обмотки

$$S = K = Z_{эл}, \quad (2)$$

где S — число секций в обмотке якоря;

K — число коллекторных пластин;

$Z_{эл}$ — число элементарных пазов.

Расчетные формулы для простой двухслойной петлевой обмотки следующие:

$$y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b; \quad (3)$$

$$y = y_K = 1; \quad (4)$$

$$y = y_1 - y_2; \quad (5)$$

$$2a = 2p, \quad (6)$$

где b — число, которое отнимают или иногда добавляют к $Z_{эл}$, чтобы при делении y было целым числом;

a — число пар параллельных ветвей.

Выполнение петлевой обмотки рассмотрим на примере.

Пример 1. Рассчитать и вычертить простую двухслойную петлевую обмотку, радиальная схема которой показана на рисунке 20, а, если известно, что $2p = 4$; $Z_{эл} = 12$.

Решение. Для простой петлевой двухслойной обмотки

$$y = y_K = 1; \quad Z_{эл} = S = K = 12;$$

$$y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b = \frac{12}{4} \pm 0 = 3.$$

Начинаем выполнять обмотку с первой коллекторной пластины, затем укладываем ее в паз 1 (рис. 20, б). Для определения номера паза, в который нужно укладывать конец секции, к номеру паза, в котором лежит начало секции, прибавляем $y_1 : 1 + 3 = 4$. Конец секции укладываем в паз 4 и присоединяем ее ко второй коллекторной пластине, так как $y_K = 1$, т. е. между началом и концом секции по коллектору лежит одна изоляционная прослойка.

Вторую секцию начинаем со второй коллекторной пластины. Для определения номера паза, в который нужно уложить начало второй секции, к номеру паза, в котором лежит начало первой секции, прибавляем $y : 1 + 1 = 2$. Начало второй секции находится в пазу 2.

В дальнейшем обмотка рассчитывается по тому же принципу. Для облегчения выполнения обмотки составляем обмоточную таблицу. Номера сторон секций, лежащих внизу паза, снабдим в обмоточной таблице штрихом.

Обмоточная таблица

Номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало секции	Номера пазов, в которых лежит секция	Номер коллекторной пластины, к которой припаян конец секции
↓ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 y_K 10 11 12	↓ → y₁ 1—4' 2—5' 3—6' 4—7' 5—8' 6—9' 7—10' 8—11' 9—12' y 10—1' 11—2' 12—3'	↓ 2 3 4 5 6 7 8 9 10 y_K 11 12 1

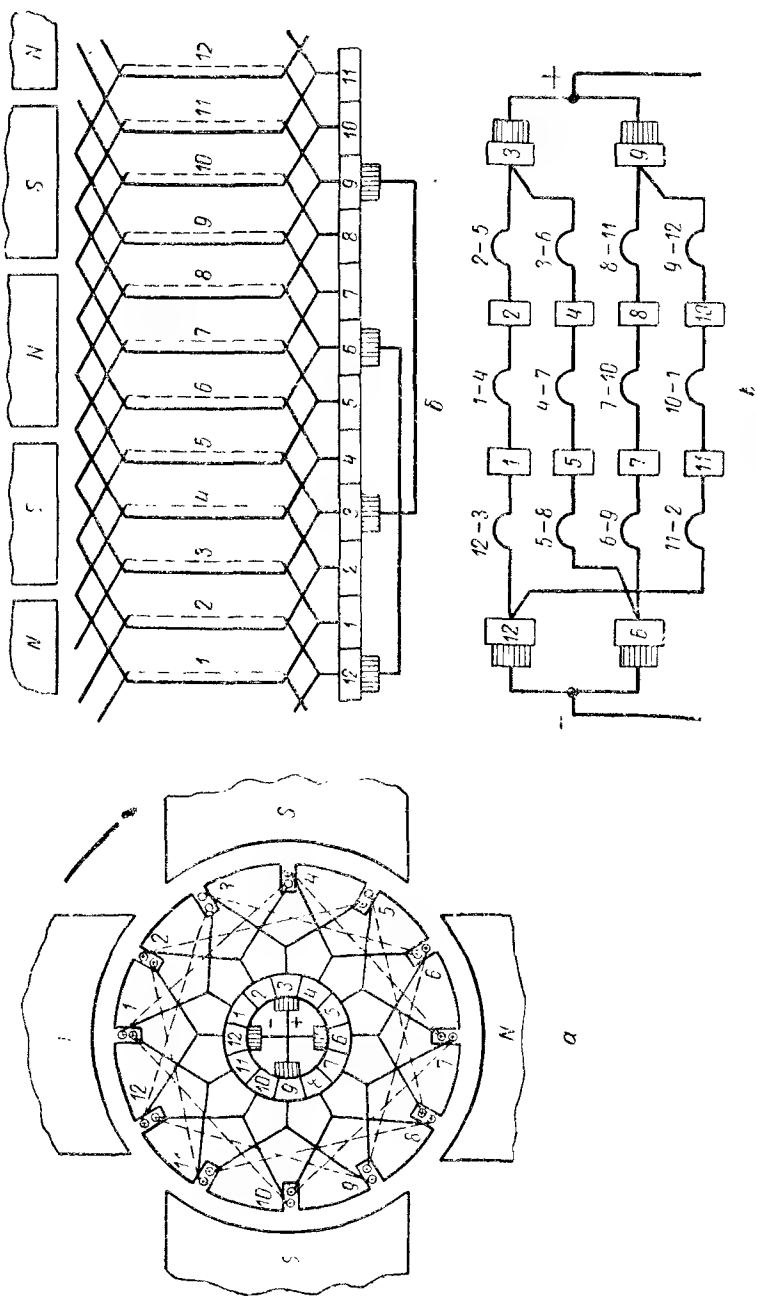


Рис. 20. Простая петлевая двухслойная обмотка:
 а — радиальная схема; б — развертка обмотки; в — схема параллельных ветвей.

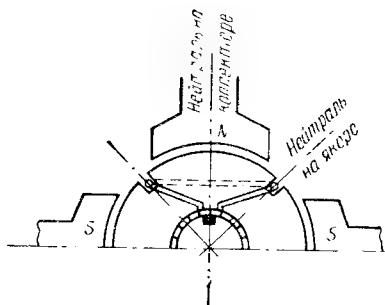


Рис. 21. Установка щеток на коллекторе.

Принцип составления обмоточной таблицы заключается в следующем. В первой графе по вертикали к каждой цифре прибавляем y_1 , во второй по вертикали y , а по горизонтали y_1 , в третьей по вертикали y_k .

Щетки на коллекторе устанавливают так, чтобы они находились на коллекторных пластинах, соединенных с проводами обмотки якоря, которые расположены на геометрической нейтрали. Лобовые соединения секции должны располагаться симметрично относительно оси секции и коллекторных пластин, к которым она присоединена.

При правильной установке щеток, когда стороны замыкаемой накоротко секции лежат на геометрической нейтрали, коллекторные пластины, к которым эта секция присоединена, находятся под серединой полюса (рис. 21).

Различают нейтраль на якоре — геометрическую нейтраль машины и нейтраль на коллекторе — линию, совпадающую с осью полюсов, на которой устанавливают щетки. Поэтому щетки в обмотках якоря барабанного типа при симметричных лобовых соединениях устанавливают на коллекторе под серединой полюсов, т. е. по оси полюсов.

Если щетки сдвинуты с нейтральной линии на коллекторе, то в каждую ветвь обмотки будут входить секции, в которых э. д. с. направлены не в одну сторону, и результирующая э. д. с. ветви будет меньше, чем при нормальном положении щеток.

Число щеток в простой петлевой обмотке всегда равно числу полюсов, т. е. $2p$.

Ширина щетки может быть равна суммарной ширине двух, трех, а иногда и более коллекторных пластин.

Параллельной ветвью обмотки называют часть обмотки, находящуюся между двумя разноименными щетками.

Составим схему параллельных ветвей обмотки (рис. 20, в). Если начать вычерчивать параллельную ветвь с положительной щетки, то закончится она на отрицательной. Начертим параллельную ветвь, начиная с коллекторной пластины 3, на которой расположена положительная щетка. Обходя обмотку по часовой стрелке, наносим на схему секцию 3—6', которая заканчивается на коллекторной пластине 4. Далее вычерчиваем секцию 4—7', выходящую из коллекторной пластины 4. Секция 4—7' заканчивается на коллекторной пластине 5. После этого следует секция 5—8', конец ее присоединен к коллекторной пластине 6, на которой стоит отрицательная щетка. Так как все эти секции лежат между щетками противоположной полярности, то это и будет одна параллельная ветвь обмотки. Далее, обходя обмотку по часовой стрелке, составляем схему параллельных ветвей, которых в данной обмотке четыре. Так как в простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу полюсов ($2a = 2p$), то ее называют параллельной.

Если параллельные ветви обмотки обладают одинаковыми электрическими сопротивлениями и в них индуктируются одинаковые по величине э. д. с., то такая обмотка называется *симметричной*.

В обмотке якоря на рисунке 20 в данный момент времени нет секций, замкнутых накоротко щетками.

КАРТОЧКА № 6 (285)

Простая петлевая (параллельная) обмотка

Обмотка четырехполюсной машины постоянного тока имеет 16 секций. Определите шаги обмотки	$y_k = 1; y = 1; y_1 = 8; y_2 = 7$	274
	$y_k = 1; y = 1; y_1 = 4; y_2 = 3$	247
	$y_k = 1; y = 1; y_1 = 4; y_2 = 5$	217
Начало первой секции рассматриваемой выше обмотки уложено в паз 1. Укажите: а) номер пазы, в котором лежит конец первой секции; б) номер пазы, в который уложено начало второй секции	а) 4; б) 2	176
	а) 5; б) 2	190
	а) 4; б) 1	163
Составьте обмоточную таблицу рассматриваемой обмотки. Укажите номера пазов, в которых лежат восьмая секция	№ 9 и № 12	166
	№ 8 и № 9	151
	№ 8 и № 12	119
Сколько щеток необходимо установить в машине с рассматриваемой обмоткой?	2	99
	4	70
	8	9
Обмотка называется симметричной, если	параллельные ветви обладают одинаковыми электрическими сопротивлениями	18
	в параллельных ветвях индуктируются одинаковые по величине э. д. с.	65
	выполнены два условия, указанные выше	59

§ 3. Простая волновая (последовательная) двухслойная обмотка.

Понятие о сложных обмотках

Волновой обмотку называют потому, что по форме секция обмотки напоминает волну. Шаги волновой обмотки показаны на рисунке 22.

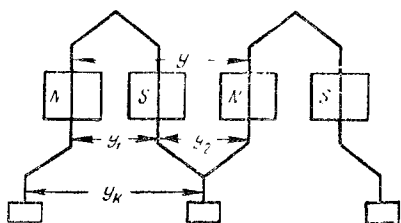


Рис. 22. Шаги волновой обмотки.

Расчетные формулы простой двухслойной волновой обмотки таковы:

$$y = y_1 + y_2; \quad (7)$$

$$y = y_K = \frac{K \pm 1}{p}; \quad (8)$$

$$2a = 2;$$

$$y_1 = \frac{Z_{\text{эл}}}{2p} \pm b.$$

Выполнение простой двухслойной волновой обмотки рассмотрим на примере.

Пример 2. Рассчитать и вычертить простую двухслойную волновую обмотку, составить обмоточную таблицу, если известно, что $2p = 4$; $Z_{\text{эл}} = S = K = 9$.

Решение.

$$y = y_K = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{9 \pm 1}{2} = 4;$$

$$y_1 = \frac{Z_{\text{эл}}}{2p} \pm b = \frac{9}{4} \pm \frac{1}{4} = 2;$$

$$y_2 = y - y_1 = 4 - 2 = 2.$$

Вычертим радиальную схему обмотки (рис. 23, а). Обмотку выполняем аналогично петлевой, но с шагом по коллектору $y_K = 4$ (например, если начало первой секции присоединить к коллекторной пластине 1, то конец этой секции присоединяем к коллекторной пластине 5; начала секций располагаем также на расстоянии $y = 4$). Развернутая схема обмотки приведена на рисунке 23, б.

Как видно из схемы параллельных ветвей (рис. 23, в), в простой волновой обмотке при любом числе полюсов две параллельные ветви, так как $2a = 2$. Число щеток в обмотке должно быть не меньше одной на каждую параллельную ветвь. Поэтому в данном случае можно было бы ограничиться и двумя щетками, но принято ставить столько щеток в машине, сколько в ней полюсов, что сопровождается снижением тока, приходится на одну щетку, уменьшением размеров коллектора и позволяет достигнуть большей симметрии обмоток.

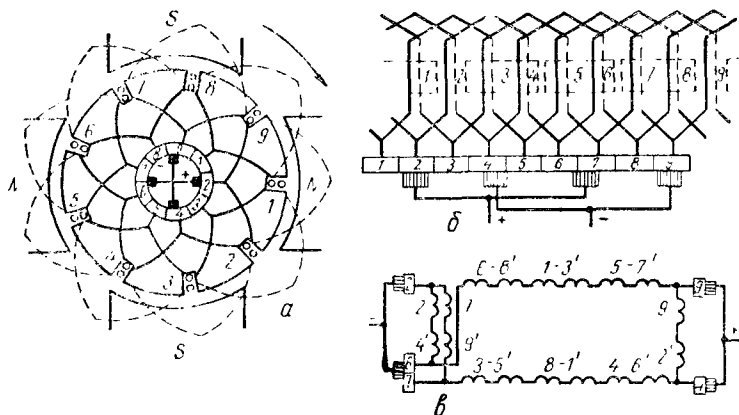


Рис. 23. Простая волновая двухслойная обмотка:

а — радиальная схема; б — развертка обмотки; в — схема параллельных ветвей.

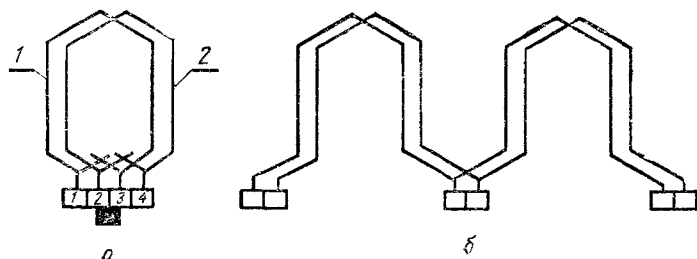


Рис. 24. Сложные обмотки:

a — петлевая; *б* — волновая.

При данном положении якоря в схеме обмотки секции 2 — 4', 7—9' и 9—2' замкнуты накоротко проводниками, соединяющими одноименные щетки.

Обмоточная таблица

Номер коллекторной пластины, к которой присоединено начало секции	Номера пазов, в которых лежит секция	Номер коллекторной пластины, к которой присоединен конец секции
1 5 9 4 8 3 7 2 6 y_K	1—3 5—7 9—2 4—6 8—1 3—5 7—9 2—4 6—8 y_1	5 9 4 8 3 7 2 6 1 y_K

Волновую последовательную обмотку применяют в электрических машинах больших напряжений, а петлевую параллельную — в машинах больших токов.

Для получения значительных токов применяют сложную петлевую обмотку. В простой петлевой обмотке увеличить с этой целью число параллельных ветвей трудно, так как для этого нужно большее число полюсов, что ведет к увеличению размеров и удорожанию машины.

Сложная петлевая обмотка состоит обычно из двух или нескольких простых петлевых обмоток, число которых обозначают буквой *m* (коэффициент кратности). Эти петлевые обмотки независимы друг от друга и соединяются между собой только щетками (рис. 24, *a*). Как видно из рисунка, секция 1 первой петлевой обмотки присоединена к коллекторным пластинам 1 и 3, а секция 2 второй петлевой обмотки — к коллекторным пластинам 2 и 4.

Для сложной петлевой обмотки число параллельных ветвей

$$2a = 2pm, \quad (9)$$

результатирующий шаг по якорю

$$y = y_k = \pm m, \quad (10)$$

а y_1 определяют, как и в простой обмотке.

Для получения повышенного напряжения в машинах большой мощности применяют сложную волновую обмотку. Сложная волновая обмотка состоит из m простых волновых обмоток (рис. 24, б).

КАРТОЧКА № 7 (248)

Простая волновая (последовательная) двухслойная обмотка. Понятие о сложных обмотках

Найдите шаги простой волновой двухслойной обмотки, состоящей из пятнадцати секций. Машина четырехполюсная, обмотка с укороченным шагом	$y = y_k = 8; y_1 = 3; y_2 = 4$	483
	$y = y_k = 7; y_1 = 3; y_2 = 4$	513
	$y = y_k = 7; y_1 = 3; y_2 = 2$	543
	$y = y_k = 7; y_1 = 2; y_2 = 4$	573
В той же обмотке начало первой секции припаяно к коллекторной пластине 1. Укажите номер коллекторной пластины, к которой припаяны: а) конец первой секции; б) начало второй секции	а) 8; б) 15	604
	а) 7; б) 15	636
	а) 8; б) 8	652
	а) 4; б) 4	685
В этой же обмотке начало первой секции лежит в пазу 1 сверху. В каком пазу лежит конец первой секции?	В пазу 4 сверху	702
	В пазу 4 снизу	670
	В пазу 8 сверху	622
	В пазу 8 снизу	591
Для рассматриваемой обмотки составьте обмоточную таблицу. Укажите номера пазов, в которых лежит четвертая секция обмотки	8—11'	559
	7—10'	498
	14—2'	470
Сложная обмотка состоит из двух простых. Чему равен коэффициент кратности?	$m = 2$	315
	$m = 4$	293
	Ответить нельзя, так как неизвестно, какая обмотка: волновая или петлевая	251

Для сложной волновой обмотки число параллельных ветвей

$$2a = 2m, \quad (11)$$

редультирующий шаг по якору

$$y = y_K = \frac{K \pm m}{p}, \quad (12)$$

и y_1 определяют так же, как и в простой обмотке.

§ 4. Э. д. с. обмотки якоря

При вращении якоря в магнитном поле полюсов в проводах его обмотки индуцируется э. д. с.

Рассмотрим, как можно определить э. д. с. обмотки якоря ненагруженной машины, если щетки ее установлены на геометрической нейтральной, а шаг обмотки $y_1 = \tau$.

Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре под полюсами изображено на рисунке 25 кривой, вычерченной сплошной линией.

Для того чтобы определить величину э. д. с. в проводнике обмотки якоря по известной нам формуле (1)

$$e_{\text{пр}} = Blv,$$

нужно найти среднее значение магнитной индукции $B_{\text{ср}}$. Заменяем площадь, ограниченную кривой действительной магнитной индукции B и осью абсцисс, равносильной площадью прямоугольника, у которого основание τ , а высота $B_{\text{ср}}$. Тогда среднее значение э. д. с., индуцируемой в одном проводе обмотки якоря,

$$e_{\text{ср.пр}} = B_{\text{ср}}lv,$$

где l — длина активной части проводника, м;

v — скорость движения проводника, м/с;

$B_{\text{ср}}$ — среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре, Т.

Э. д. с. на зажимах генератора постоянного тока равна э. д. с. одной параллельной ветви, что видно из схемы параллельных ветвей.

Если число проводников обмотки якоря обозначим как N , а число параллельных ветвей обмотки якоря как $2a$, то число проводников в одной параллельной ветви будет равно $\frac{N}{2a}$. Тогда среднее значение э. д. с., индуцированной в обмотке якоря машины постоянного тока,

$$E_{\text{я}} = e_{\text{ср.пр}} \cdot \frac{N}{2a} = B_{\text{ср}}lv \frac{N}{2a}.$$

Поскольку на заводском щитке электрических машин приведена скорость вра-

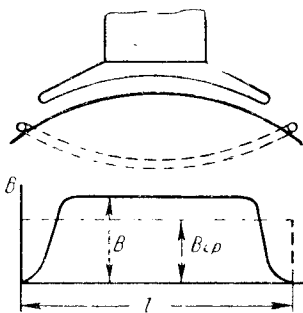


Рис. 25. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре.

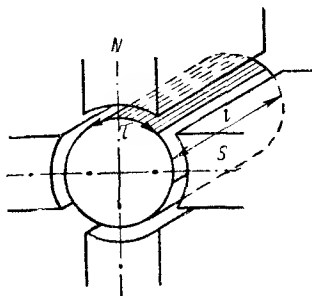


Рис. 26. Площадь под полюсом, через которую проходит магнитный поток.

щения якоря (об/мин), а не линейная скорость движения провода обмотки якоря, то имеет смысл представить линейную скорость как

$$v = \frac{\pi D n}{60},$$

где D — диаметр якоря, м;

n — скорость вращения якоря, об/мин.

Так как $\pi D = 2\pi\tau$, то

$$v = \frac{2\pi\tau n}{60} \text{ м/с.}$$

Найденное значение v подставим в формулу (1):

$$E_{\text{я}} = 2l \frac{pn}{60} \tau B_{\text{ср}} \frac{N}{2a}.$$

Произведение τl представляет собой площадь, через которую проходит магнитный поток Φ (рис. 26); если эту площадь умножить на $B_{\text{ср}}$, то получим значение полезного магнитного потока Φ одной пары полюсов машины:

$$\tau l B_{\text{ср}} = \Phi \text{ Вб.}$$

После соответственных сокращений и подстановок формула (1) примет вид:

$$E_{\text{я}} = \frac{pN}{60a} n \Phi \text{ В.} \quad (13)$$

Так как величины p , N и a постоянны для данной машины, то последняя формула может быть упрощена:

$$E_{\text{я}} = C_E n \Phi \text{ В,} \quad (14)$$

где $C_E = \frac{pN}{60a} = \text{const}$ — постоянная для данной машины величина.

Как следует из формулы (14), э. д. с. обмотки якоря машины постоянного тока зависит от скорости n его вращения и значения магнитного потока Φ .

Пример 3. Определить э. д. с. машины постоянного тока, если число проводов обмотки якоря $N = 360$, число пар полюсов $p = 2$, число пар параллельных ветвей обмотки якоря $a = 2$, скорость вращения якоря $n = 2000$ об/мин, магнитный поток полюсов $\Phi = 0,01$ Вб.

Решение. Значение э. д. с. определяем по формуле (13):

$$E_{\text{я}} = \frac{pN}{60a} n \Phi = \frac{2 \cdot 360}{60 \cdot 2} \cdot 2000 \cdot 0,01 = 120 \text{ В.}$$

Э. д. с. обмотки якоря

Найдите формулу закона электромагнитной индукции, удобную для вычисления э. д. с., наводимой в движущемся проводнике	$e = Blv$	335
	$e = -w \frac{d\Phi}{dt}$	373
	$e = - \frac{d\psi}{dt}$	381
Общее число проводников обмотки равно N . Число пар параллельных ветвей равно a . В каждом проводнике индуцируется э. д. с. $e_{cp} = B_{cp}lv$. Укажите выражение для э. д. с. на зажимах машины	$E = B_{cp}lv$	418
	$E = B_{cp}lvN$	452
	$E = B_{cp}lv \frac{N}{2a}$	484
Какое выражение надо использовать, чтобы от формулы для э. д. с. E , найденной в предыдущем задании, перейти к формуле $E = \tau l B_{cp} \frac{p n N}{60a}$?	$v = \frac{\pi D n}{60}$	514
	$v = \frac{2\pi \tau n}{60}$	544
	$\pi D = 2\pi \tau$	574
Какое выражение надо использовать, чтобы от формулы для э. д. с. E , приведенной в предыдущем задании, перейти к формуле $E = \frac{pN}{60a} n\Phi$?	$\tau l = S$	605
	$\tau l B_{cp} = \Phi$	637
	$E = C_E n\Phi$	653
При прочих равных условиях скорость генератора увеличилась в 2 раза. Как изменилась э. д. с. на зажимах машины?	Не изменилась	686
	Увеличилась в 2 раза	703
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	671

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Обмотки якорей машин постоянного тока

1. Вычертить простую петлевую двухслойную обмотку по следующим данным: $2p = 4$; $Z_{эл} = 13$.

2. Вычертить простую волновую двухслойную обмотку по следующим данным: $2p = 4$; $Z_{эл} = 17$.

Выполняя работу, нужно рассчитать обмотку, составить обмоточную таблицу, вычертить радиальную схему, развертку обмотки и схему параллельных ветвей. На схеме расположить щетки и, задаваясь направлением вращения якоря, определить их полярность.

Секции, замкнутые щетками накоротко, следует нарисовать более жирными линиями. Ширину щетки взять равной ширине коллекторной пластины.

Глава III

РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ

§ 1. Магнитное поле обмотки якоря при нагрузке

Если при холостом ходе в машине постоянного тока существует только магнитное поле, создаваемое полюсами, то при работе с нагрузкой ток в обмотке якоря создает собственное магнитное поле, которое, накладываясь на поле полюсов, искажает и частично уменьшает его. Воздействие магнитного поля якоря на основное магнитное поле полюсов называют реакцией якоря.

На рисунке 27, а изображено магнитное поле полюсов машины в режиме холостого хода. При этом ось поля совпадает с осью полюсов.

На рисунке 27, б показано магнитное поле якоря при работе с нагрузкой. Поскольку якорь представляет собой электромагнит, в котором обмоткой возбуждения служит обмотка якоря, а в щетках происходит разделение тока якоря, то ось магнитного поля якоря всегда совпадает с линией установки щеток.

На рисунке 27, в показано результирующее магнитное поле машины при нагрузке. Как видно из рисунка, направления магнитных полей полюсов и якоря под сбегающими краями полюсов совпадают, а под набегающими не совпадают, вследствие чего результирующее магнитное поле в первом случае усилено, а во втором — ослаблено. Ось результирующего магнитного поля оказывается расположенной под некоторым углом β к оси полюсов.

Если провести линию через две точки на окружности якоря, где магнитная индукция равна нулю, то получим так называемую физическую нейтраль, которая повернута по отношению к геометрической нейтральной также на угол β — у генераторов по направлению вращения, а у двигателей против направления вращения якоря.

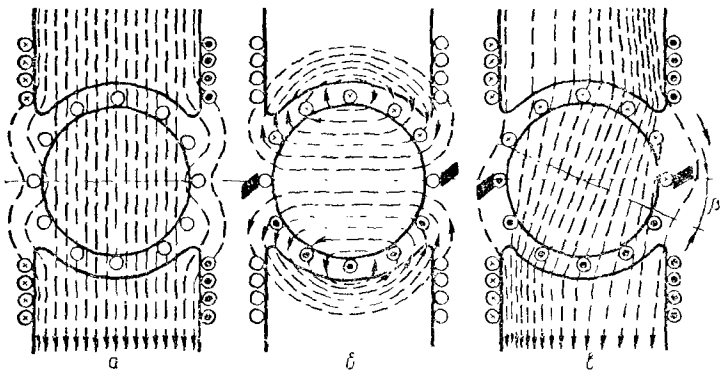


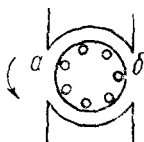
Рис. 27. Реакция якоря:

а — магнитное поле полюсов при холостом ходе; б — магнитное поле якоря;
в — результирующее магнитное поле машины при нагрузке.

Магнитное поле обмотки якоря при нагрузке

Якорь нагруженного генератора вращается против часовой стрелки.

В какой из точек (a или b) результирующее магнитное поле слабее?

В точке a

97

В точке b

77

Ответить не представляется возможным, так как не обозначена полярность полюсов машины

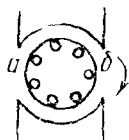
117

Магнитное поле в обеих точках одинаково

138

Якорь нагруженного двигателя вращается по часовой стрелке.

В какой из точек (a или b) результирующее магнитное поле слабее?

В точке a

183

В точке b

205

Ответить нельзя, так как не обозначена полярность полюсов машины

230

Магнитное поле в обеих точках одинаково

231

Как повернута физическая нейтраль относительно геометрической: а) в машине, рассмотренной в первом вопросе; б) в машине, рассмотренной во втором вопросе?

а) по часовой стрелке; б) против часовой стрелки

272

а) против часовой стрелки; б) по часовой стрелке

357

В обоих случаях против часовой стрелки

336

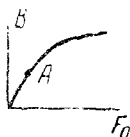
В обоих случаях по часовой стрелке

318

Большим работ генератора соответствует точке A , выбранной на линейном участке характеристической намагничивающей машины. В результирующее магнитное поле вследствие реакции якоря

уменьшится и будет искажено

382



будет искажено, но не изменится по величине

419

Реакцией якоря называют	уменьшение магнитного поля машины при увеличении нагрузки	485
	искажение магнитного поля машины при увеличении нагрузки	515
	воздействие магнитного поля якоря на основное магнитное поле полюсов	545
	увеличение искрения под щетками машины	575

Таким образом, следствием реакции якоря является смещение физической нейтральной линии геометрической нейтральной, искажение и уменьшение магнитного поля машины. Уменьшение магнитного поля машины происходит потому, что ослабление магнитного поля под набегавшими краями полюсов не полностью компенсируется усилением его под сбегавшими краями полюсов вследствие насыщения стали магнитной цепи.

Во избежание искрения под щетками их нужно сдвигать за физическую нейтраль: в генераторе по направлению вращения якоря, а в двигателе против направления вращения якоря (см. § 2 гл. IV).

Величина магнитного поля якоря зависит от силы тока в нем; с ростом тока нагрузки магнитное поле якоря увеличивается, со снижением уменьшается.

При холостом ходе магнитное поле якоря отсутствует и физическая нейтраль совпадает с геометрической, но чем больше ток нагрузки, тем на больший угол β сдвигается физическая нейтраль. Поэтому положение щеток на коллекторе определяется нагрузкой машины. Чем больше нагрузка машины, тем на больший угол от геометрической нейтральной нужно сдвигать щетки.

Практически положение щеток на коллекторе определяется степенью искрения под ними.

Считается, что щетки установлены правильно, если искрение под ними наименьшее.

§ 2. Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока

При сдвиге щеток с геометрической нейтральной перемещается и ось поля якоря, так как она всегда направлена по линии установки щеток.

Изобразим вектором F_a магнитодвижущую силу (м. д. с.) якоря машины постоянного тока и разложим этот вектор на две составляющие — горизонтальную F_{aH} и вертикальную F_{aB} (рис. 28). Вертикальная составляющая, называемая продольной, направлена против магнитного поля полюсов, т. е. она ослабляет магнитное поле полю-

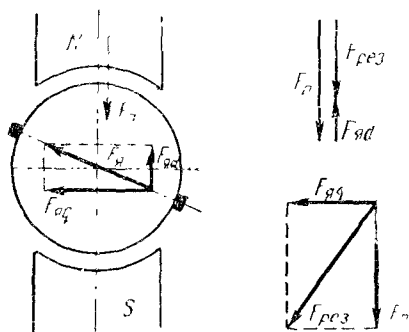


Рис. 28. Разложение м. д. с. якоря на две составляющие.

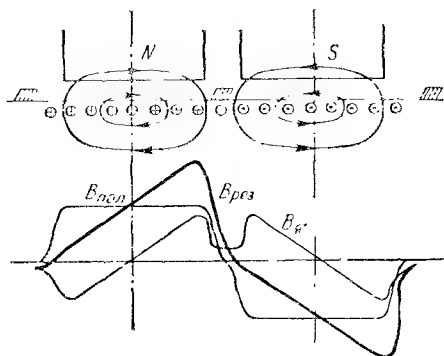


Рис. 29. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре вследствие действия реакции якоря.

сов, а горизонтальная составляющая, называемая поперечной, способствует искривлению магнитного поля машины.

Итак, вследствие реакции якоря ослабляется и искажается магнитное поле полюсов.

Рассмотрим магнитную индукцию в воздушном зазоре машины при нагрузке. Условимся направление вектора магнитной индукции показывать совпадающим с направлением магнитных силовых линий.

На рисунке 29 представлена кривая $B_{пол}$ распределения магнитной индукции главных полюсов.

Если принять направление вращения якоря по часовой стрелке, то направление тока в проводах обмотки якоря будет таким: под северным полюсом — от нас, под южным — к нам.

Для упрощения предположим, что щетки стоят на геометрической нейтральной, рассмотрим картину магнитного поля вокруг проводов обмотки якоря. Кривая $B_{я}$ показывает распределение магнитной индукции поля якоря в воздушном зазоре.

Для получения кривой $B_{рез}$ результирующего значения магнитной индукции в воздушном зазоре сложим ординаты кривых $B_{пол}$ и $B_{я}$, причем условимся, что сталь полюсов машины ненасыщена.

Как видно из рисунка 29, результирующее значение магнитной индукции несимметрично относительно оси полюсов: слева от оси полюса магнитная индукция значительно ослаблена, а справа — усилена. Такое неравномерное распределение магнитной индукции может привести к образованию «кругового огня» на коллекторе, так как в секциях обмотки, попадающих в поле с большим значением магнитной индукции, индуктируется повышенная э. д. с., которая может вызвать перекрытие изоляции между коллекторными пластинами и появление усиленного искрения на коллекторе.

В результате искажения магнитного поля полюсов магнитное поле машины несколько ослабляется, так как усиление его в правой части полюса всегда меньше, чем ослабление его в левой части из-за насыщения стали полюсов.

Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока

В генераторе без дополнительных полюсов при увеличении нагрузки искрение под щетками увеличилось. Как уменьшить искрение?	Повернуть щетки против направления вращения якоря	606
	Повернуть щетки по направлению вращения якоря	638
	Уменьшить ток нагрузки генератора	654
У двигателя без дополнительных полюсов при увеличении механической нагрузки на валу искрение под щетками увеличилось. Как уменьшить искрение?	Повернуть щетки против направления вращения якоря	657
	Повернуть щетки по направлению вращения якоря	704
	Уменьшить механическую нагрузку на валу	672
По картине распределения магнитной индукции в воздушном зазоре машины определите, какая это машина 	Генератор	623
	Двигатель	592
Как изменяется напряжение на зажимах генератора при увеличении нагрузки?	Не изменяется	560
	Увеличивается	529
	Уменьшается	499
При номинальной нагрузке щетки повернуты так, что искрение под щетками минимально. Как изменится искрение при уменьшении нагрузки?	Не изменится	471
	Увеличится	438
	Уменьшится	439

Глава IV

КОММУТАЦИЯ

§ 1. Сущность процесса коммутации

При вращении якоря щетки машины переходят с одной коллекторной пластины на другую, замыкая на короткий промежуток времени секции, соединенные с этими коллекторными пластинами. Происхо-

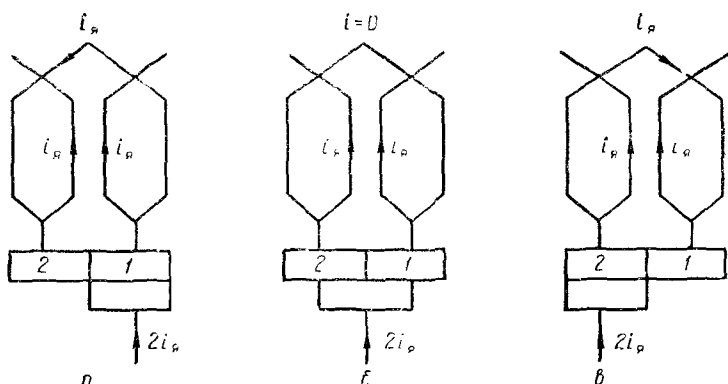


Рис. 30. Изменение тока в короткозамкнутой секции за период коммутации, если сумма э. д. с. в ней равна нулю:

а — положение секции до начала коммутации; *б* — положение секции в середине периода коммутации; *в* — положение секции в конце периода коммутации.

дит процессе переключения этих секций из одной параллельной ветви обмотки якоря в другую. Этот процесс и все явления, возникающие в короткозамкнутых секциях при этом, называют к о м м у т а - ц и е й.

Рассмотрим явления, происходящие в короткозамкнутой секции при переходе щетки с одной коллекторной пластины на другую, когда э. д. с. в этой секции равна нулю.

На рисунке 30, *а* показано положение щетки на первой коллекторной пластине. Если ток в одной параллельной ветви обозначить через $i_я$, то к щетке поступает ток $2i_я$, так как от коллекторной пластины отходят две параллельные ветви.

Если щетка расположена на двух коллекторных пластинах так, что изоляционная прослойка между ними приходится на середину щетки, то ток в короткозамкнутой секции равен нулю (рис. 30, *б*). Когда щетка перейдет на вторую коллекторную пластину, ток в секции, замыкавшейся накоротко щеткой, изменит свое направление на противоположное (рис. 30, *в*). Таким образом, за время коммутации ток в короткозамкнутой секции изменяется по направлению и величине от $+i_я$ до $-i_я$.

При изменении тока в короткозамкнутой секции происходит изменение магнитного потока вокруг проводов секции, вследствие чего в витках этой секции наводится э. д. с. самоиндукции, а при изменении тока и магнитного потока в соседних витках в ней возникает э. д. с. взаимной индукции, если ширина щетки больше ширины коллекторной пластины.

Результатирующую э. д. с. самоиндукции и взаимной индукции называют реактивной э. д. с. и обозначают как e_p . По правилу Ленца реактивная э. д. с. противодействует изменению тока в короткозамкнутой секции. Э. д. с., индуцируемую в витках обмотки якоря след-

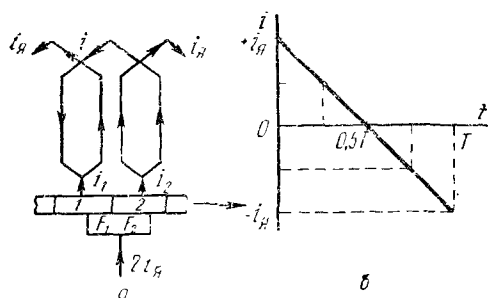


Рис. 34. Прямоугольная коммутация:
а — направление тока в короткозамкнутой секции; б — график изменения тока в короткозамкнутой секции.

реходных контактов между щеткой и коллекторными пластинами обозначим как r_1 и r_2 (рис. 34, а). Эти сопротивления обратно пропорциональны площадям (соответственно F_1 и F_2) соприкосновения щетки с коллекторными пластинами:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{F_2}{F_1}.$$

Площади соприкосновения щетки с коллекторными пластинами пропорциональны времени t , прошедшему с начала коммутации:

$$F_1 = t, \text{ а } F_2 = T - t,$$

где T — период коммутации, т. е. время, в течение которого щетка перейдет со второй коллекторной пластины на первую.

Токи i_1 и i_2 обратно пропорциональны сопротивлениям r_1 и r_2 :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{t}{T-t}.$$

Отсюда

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{t}{T-t},$$

но ток

$$i_2 = i_H + i,$$

а

$$i_1 = i_H - i,$$

тогда

$$\frac{i_H - i}{i_H + i} = \frac{t}{T-t}.$$

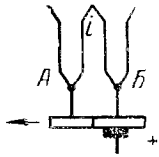
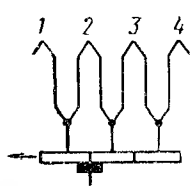
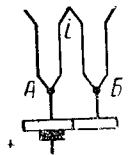
Решая это уравнение относительно i , получим

$$i = i_H \frac{T-2t}{T}, \quad (15)$$

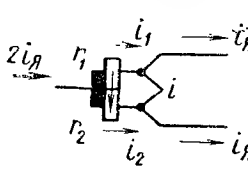
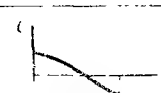
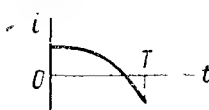
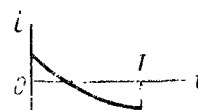
стыве пересечения этими витками магнитного поля машины, называют *коммутирующей э. д. с.* и обозначают как e_k .

Допустим, что сумма э. д. с. в короткозамкнутой секции равна нулю. Пренебрегаем сопротивлением секции и соединительных проводников между секцией и коллекторными пластинами. Ширину щетки принимаем равной ширине коллекторной пластины. Сопротивления пе-

Сущность процесса коммутации

Куда направлен ток i , если машина работает: а) в режиме генератора; б) в режиме двигателя?	От A к B	403
	а) от A к B ; б) от B к A	404
	От B к A	437
Какая секция коммутируется в рассматриваемый момент времени?	Секция 1	317
	Секция 2	295
	Определить не представляется возможным	253
Машина работает в режиме генератора. Куда направлен ток i ?	От A к B	250
	От B к A	181
Через щетку машины протекает ток 10 А.	От $+10$ до -10 А	162
В каких пределах меняется ток в коммутируемой секции?	От 5 до -5 А	127
	Равен нулю в течение всего периода коммутации	98
Линейная скорость точек, лежащих на поверхности коллектора, равна 25 м/с. Ширина щетки 1 см.	Для решения задачи недостаточно данных	78
Определите период коммутации	$T = 0,04$ с	118
	$T = 0,0004$ с	139

Сущность процесса коммутации

Укажите условие линейной коммутации	$\frac{r_1}{r_2} = \frac{F_2}{F_1}$	184	
	$F_1 = t; F_2 = T - t$	206	
	$e_b + e_p = 0$	232	
$\frac{r_2}{r_1} = \frac{t}{T - t}$ Найдите отношение токов $\frac{i_1}{i_2}$ как функцию времени t 	$\frac{i_1}{i_2} = \frac{t}{T - t}$	273	
	Приведенная схема не позволяет найти это отношение	316	
Укажите график, соответствующий формуле $i = \frac{T - 2t}{T} i_n$		337	
		358	
		383	
Ток в короткозамкнутой секции изменяется по графику		Ускоренная	420
Какая это коммутация?		Замедленная	454
Ток в короткозамкнутой секции изменяется по графику		Под набегающим краем щетки	486
		Под сбегающим краем щетки	516
1. плотность тока больше?			

Коммутация, при которой сумма э. д. с. в короткозамкнутой секции не равна нулю, получила название *криволинейной*.

Если реактивная э. д. с. e_p больше коммутирующей э. д. с. e_k , то процесс изменения тока в короткозамкнутой секции замедляется, и такую коммутацию называют *замедленной* (рис. 32, а).

В тот момент, когда половина щетки стоит на первой, а вторая половина щетки на второй коллекторной пластине, ток в короткозамкнутой секции не равен нулю: в ней проходит ток i_d , определяемый величиной суммарной э. д. с. и сопротивлением короткозамкнутой цепи. Так как добавочный ток i_d , складываясь с током i_k , приводит к повышению плотности тока под сбегающим краем щетки, то под щеткой появляется искрение. Под набегающим краем щетки уменьшается плотность тока, так как ток i_d направлен встречно току i_k .

Если коммутирующая э. д. с. e_k больше реактивной э. д. с. e_p , то коммутацию называют *ускоренной* (рис. 32, б). В этом случае появление добавочного тока i_d вызывает искрение под набегающим краем щетки.

§ 2. Способы улучшения коммутации

Прямолинейная коммутация, при которой ток i_d равен нулю, не сопровождается искрением на коллекторе.

Поскольку величина добавочного тока i_d зависит от величины э. д. с. в коммутируемой секции и от сопротивления переходного контакта между щеткой и коллекторными пластинами

$$i_d = \frac{\sum e}{r_{л.п} + r_{пш}}, \quad (17)$$

то улучшить коммутацию можно, увеличивая сопротивление щеток или уменьшая э. д. с. в коммутируемой секции до нуля. Увеличение сопротивления щеток для улучшения коммутации может быть применено только в машинах малой мощности, так как при больших значениях тока якоря повышение сопротивления щеток приведет к перегреву щеток и коллектора и к увеличению потерь в машине.

Для улучшения коммутации стремятся уменьшить сумму э. д. с. до нуля.

Чтобы добиться равенства $e_p + e_k = 0$, нужно в зоне коммутации создать магнитное поле, которое индуцировало бы в коммутируемой секции коммутирующую э. д. с. e_k , равную по величине реактивной э. д. с. e_p и противоположную ей по знаку. Это может быть достигнуто сдвигом щеток с физической нейтрали по направлению вращения якоря у генераторов и против направления вращения якоря у двигателей. При вращении якоря генератора по часовой стрелке в проводах обмотки якоря, находящихся под северным полюсом, э. д. с. и ток имеют положительное (+) направление (рис. 33). В проводах коммутируемой секции, исходящих из физической нейтрали, э. д. с. e_k равна нулю, а э. д. с. e_p имеет такой же знак, который имела

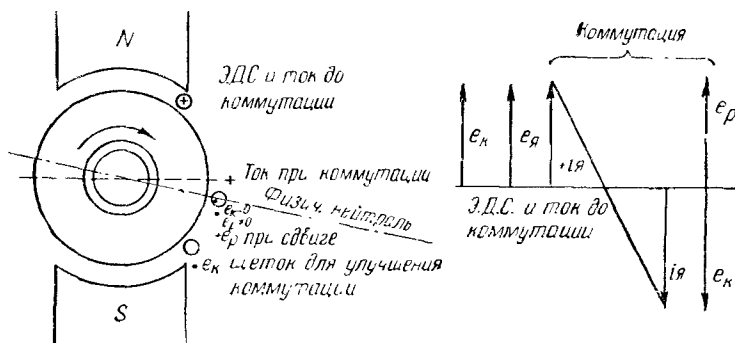


Рис. 33. Улучшение коммутации сдвигом щеток с физической нейтральной.

э. д. с. ϵ_k в проводах, находящихся под северным полюсом. Это объясняется тем, что реактивная э. д. с. препятствует изменению тока в коммутируемой секции, который при коммутации сначала уменьшается, а затем увеличивается в противоположном направлении, поэтому реактивная э. д. с. направлена в ту же сторону, что и ток в коммутируемой секции до начала коммутации. Но нам необходимо добиться создания э. д. с. ϵ_k в коммутируемой секции, равной по величине и противоположной по знаку реактивной э. д. с. ϵ_r . Для этого нужно сдвинуть щетки с физической нейтральной по направлению вращения якоря генератора, т. е. поместить коммутируемую секцию в магнитное поле противоположной полярности, под южный полюс.

Однако равенство $\epsilon_r = \epsilon_k$ достигается только при какой-то определенной нагрузке, так как при изменении нагрузки физическая нейтральная смещается и это равенство нарушается. Поэтому при каждом изменении нагрузки для того, чтобы коммутация была безыскровой, нужно передвигать щетки, что практически трудно осуществить. Этот способ улучшения коммутации может быть применен при постоянной нагрузке или у машин небольшой мощности.

В современных машинах для улучшения коммутации применяют дополнительные полюсы. Их делают меньшего сечения и располагают между главными полюсами (рис. 34). Обмотки дополнительных полюсов включаются последовательно с обмоткой якоря, и через них проходит весь ток нагрузки.

Число дополнительных полюсов обычно равно числу основных полюсов, но в машинах малой мощности его иногда уменьшают в 2 раза (например, машины типа ПН-3, ПН-10 и ПН-17,5 мощ-

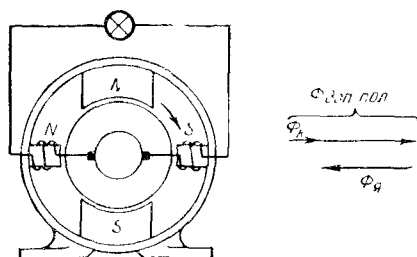


Рис. 34. Схема включения дополнительных полюсов.

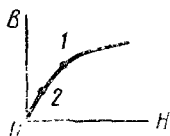
ностью 0,3—3,7 кВт имеют по два основных полюса и только по одному добавочному).

Намагничивающая сила дополнительных полюсов направлена против намагничивающей силы якоря, вследствие чего компенсируется магнитное поле якоря $\Phi_{\text{я}}$ в зоне коммутации, а так как обе они пропорциональны току нагрузки, то получается автоматическая компенсация магнитного поля якоря при любой нагрузке. Для этого дополнительные полюса делают такого сечения, чтобы сталь полюсов не была насыщена, т. е. чтобы сохранялась прямая пропорциональность между магнитным потоком и током нагрузки.

КАРТОЧКА № 13 (223)

Способы улучшения коммутации

Какой будет коммутация в машине, если $e_p > e_k$?	Прямолинейной	546
	Ускоренной	576
	Замедленной	607
Где должны находиться щетки машины, не имеющей дополнительных полюсов, чтобы коммутация была прямолинейной?	На геометрической нейтральной	639
	На физической нейтральной	655
	За физической нейтральной	688
Прямолинейную коммутацию иногда получают за счет сдвига щеток с геометрической нейтральной. Каков основной недостаток этого способа?	Зависимость угла поворота щеток от величины нагрузки	705
	Сложность определения геометрической нейтральной машины	673
Какой способ улучшения коммутации целесообразно использовать в мощных машинах при переменной нагрузке?	Сдвиг щеток за физическую нейтраль	624
	Установку дополнительных полюсов	593
Какая точка кривой намагничивания сердечника дополнительного полюса соответствует номинальной нагрузке машины?	Точка 1	561
	Точка 2	530
	Любая из точек 1 и 2	500



По числу витков обмотки дополнительных полюсов рассчитывают так, чтобы магнитный поток, создаваемый ими, был на 15—30% больше магнитного потока якоря, как раз на такую величину Φ_k , которая позволяет индуктировать в короткозамкнутой секции коммутирующую э. д. с. e_k , равную по величине и противоположную по

направлению реактивной э. д. с. e_p . А так как э. д. с. e_k и e_p пропорциональны току якоря, то благодаря этому достигается автоматичность действия дополнительных полюсов.

Необходимо отметить, что для хорошей коммутации нужно также, чтобы коллектор был цилиндрическим и гладким, щетки хорошо прижаты к коллектору и легко передвигались в обоймах щеткодержателей, пружины щеткодержателей нормально натянутыми и электрическая машина не была перегружена.

В машинах с дополнительными полюсами щетки с геометрической нейтрالي не сдвигают.

Порядок чередования полярности главных и дополнительных полюсов по направлению вращения якоря таков:

у генератора $N - s - S - n$;

у двигателя $N - n - S - s$

(прописными буквами обозначены главные полюса, строчными — дополнительные).

В мощных машинах, работающих с большими перегрузками, кроме дополнительных полюсов, применяют компенсационную обмотку, соединяемую последовательно с обмоткой якоря. Поле, создаваемое компенсационной обмоткой, нейтрализует поперечную реакцию якоря под главными полюсами машины.

Глава V

ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

§ 1. Системы возбуждения генераторов. Номинальные данные электрических машин

Магнитный поток в полюсах машины создается постоянным током, протекающим по обмотке возбуждения полюсов.

Генератор, в котором обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника тока (аккумулятора, батареи или другой машины постоянного тока), называют генератором с *независимым возбуждением*.

Если напряжение на обмотку возбуждения подается с зажимов со стороны того же генератора, то его называют генератором с *самовозбуждением*. В зависимости от того, каким образом присоединена в этих генераторах обмотка возбуждения к обмотке якоря, различают генераторы с *параллельным, последовательным и смешанным возбуждением*.

Мощность, затрачиваемая на возбуждение, составляет обычно 1—3% мощности генератора.

Каждая электрическая машина характеризуется номинальными данными, которые указываются на ее заводском щитке. К основным номинальным данным машин постоянного тока относятся следующие:

а) номинальная мощность P_n генератора (кВт) — это мощность при его зажимах, которую он может отдать потребителям; под номи-

нальной мощностью P_n двигателя (кВт) понимают полезную механическую мощность, которую он развивает (мощность на валу);

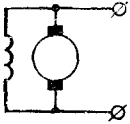
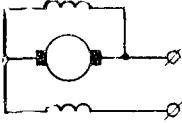
б) номинальное напряжение U_n — это напряжение, для работы на котором предназначена электрическая машина;

в) номинальная сила тока I_n определяется номинальными значениями мощности и напряжения;

г) номинальная скорость вращения n_n — это скорость вращения якоря (ротора), развиваемая в номинальном режиме.

КАРТОЧКА № 14 (307)

Системы возбуждения генераторов. Номинальные данные электрических машин

На схеме изображен генератор 	с параллельным возбуждением	185
	с последовательным возбуждением	207
	с независимым возбуждением	233
На схеме изображен генератор 	с параллельным возбуждением	274
	с последовательным возбуждением	329
	со смешанным возбуждением	338
Мощность генератора 10 кВт. Определите примерную величину мощности возбуждения	2 кВт	359
	200 Вт	384
Номинальное напряжение генератора $U_n = 115$ В. Номинальная мощность $P_n = 115$ кВт. Определите номинальный ток	1150 А	421
	1000 А	455
Какая из перечисленных справочных величин не указывается на заводском щитке генератора постоянного тока?	Номинальная мощность	60
	Номинальное напряжение и сила тока	102
	Номинальная э. д. с.	45
	Номинальная скорость вращения	24

§ 2. Генератор независимого возбуждения и его характеристики

У генератора независимого возбуждения обмотка возбуждения B получает питание от постороннего источника тока — аккумулятора A (рис. 35). Ток возбуждения $I_{\text{в}}$, проходя по обмотке возбуждения, создает в полюсах магнитный поток Φ , пронизывающий обмотку якоря. При вращении якоря первичным двигателем в обмотке якоря индуцируется э. д. с. $E_{\text{я}}$, величина которой, согласно формуле (14), зависит от магнитного потока и скорости вращения якоря.

Если к зажимам генератора подключить нагрузку, то в цепях якоря и нагрузки потечет ток нагрузки $I_{\text{н}}$.

Графическое выражение зависимостей между различными величинами электрических машин называют *характеристиками*. Они могут быть получены опытным или расчетным путем.

Характеристика холостого хода отображает зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения при постоянной скорости вращения и токе нагрузки, равном нулю.

Математически эту характеристику можно записать так:

$$U = f(I_{\text{н}}) \text{ при } I_{\text{н}} = 0 \text{ и } n = \text{const.}$$

Схема для снятия некоторых характеристик генератора независимого возбуждения приведена на рисунке 36.

Для изменения величины э. д. с. генератора в цепь обмотки возбуждения введен регулировочный реостат $R_{\text{р}}$. Рубильник цепи нагрузки P отключен. Силу тока возбуждения измеряет амперметр A , а напряжение на зажимах генератора — вольтметр V . Амперметр A I , включенный в цепь нагрузки, в данном опыте не нужен, так как ток нагрузки равен нулю, но он необходим для снятия других характеристик.

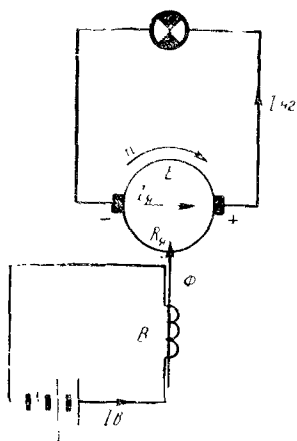


Рис. 35. Принципиальная схема генератора независимого возбуждения.

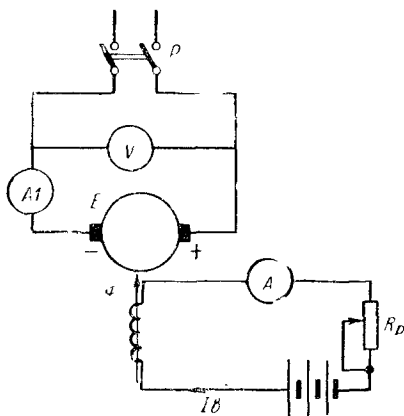


Рис. 36. Схема снятия характеристик холостого хода, внешней и регулировочной генератора независимого возбуждения.

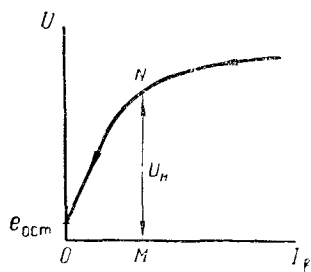


Рис. 37. Характеристика холостого хода генератора независимого возбуждения.

При обмотке возбуждения, к которой подключен аккумулятор, возникает ток $I_{в}$, а вольтметр, показывая некоторое значение э. д. с. При увеличении тока возбуждения э. д. с. на зажимах генератора повышается: сначала в прямой зависимости, а затем по мере насыщения магнитной системы машины это увеличение будет все меньшим (рис. 37). Увеличим ток возбуждения до значения, при котором э. д. с. генератора возрастет примерно до значения $1,25 U_n$, а затем, уменьшая ток возбуждения до нуля, запишем показания амперметра A и вольтметра V . С уменьшением тока возбуждения напряжение на зажимах генератора снижается, однако, когда ток возбуждения упадет до нуля, э. д. с. генератора не будет равна нулю, так как в полюсах есть поток остаточного магнетизма. Величина э. д. с. от остаточного магнетизма составляет 1–3% номинального напряжения машины.

Точка N , соответствующая номинальному значению напряжения генератора, лежит на перегибе кривой характеристики холостого хода. Начальная часть кривой ON соответствует области неустойчивых напряжений (незначительное изменение тока возбуждения приводит к значительному изменению напряжения), на пологой части кривой, в зоне насыщения, ограничивается возможности регулирования напряжения (для небольшого изменения напряжения требуется значительное изменение тока возбуждения).

Характеристика холостого хода дает представление о степени насыщения стали машины. По этой характеристике можно также определить, на какое номинальное напряжение изготовлена машина. Для этого измеряют длину отрезка MN и получают в масштабе значение э. д. с., которое приблизительно равно номинальному напряжению машины.

Внешняя характеристика выражает зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки при постоянных значениях скорости вращения и сопротивления цепи возбуждения, т. е.

$$U = f(I_{нр}) \text{ при } n = \text{const и } r_{в} = \text{const.}$$

В генераторе с независимым возбуждением ток возбуждения будет неизменным: $I_{в} = \text{const}$.

Внешнюю характеристику снимают при понижении и повышении напряжения.

В первом случае в режиме холостого хода устанавливают на зажимах генератора номинальное напряжение и, не трогая регулировочный реостат R_p (см. рис. 36), нагружают генератор до номинального значения тока, записывая при этом показания амперметра A и вольтметра V . Амперметр A цепи возбуждения в данном опыте не нужен. Поскольку с увеличением нагрузки возрастает ток якоря I_a ,

то сопровождается повышением падения напряжения $I_H R_H$ в цепи якоря, и вследствие размагничивающего действия реакции якоря (при сдвиге полюсов с геометрической нейтралл), напряжение машины уменьшается (рис. 38, а).

Если пренебречь размагничивающим действием реакции якоря, то уравнение напряжения генератора можно записать в таком виде:

$$U = E - I_H R_H. \quad (18)$$

Изменение напряжения ΔU определяют в процентах от номинального

$$\Delta U\% = \frac{U_H - U}{U_H} 100, \quad (19)$$

т. е. $\Delta U\%$ составляет $(5 \div 15\%) U_H$.

Если бы продолжать нагружать генератор далее и затем замкнуть его клеммы накоротко, чего делать нельзя, то можно было бы получить продолжение внешней характеристики. Точке пересечения кривой с осью абсцисс соответствовало бы значение тока короткого замыкания I_K , которое может быть в несколько десятков раз больше номинального. Обмотку якоря защищают от токов короткого замыкания, устанавливая в цепи нагрузки плавкие предохранители или автоматы.

Во втором случае устанавливают номинальное напряжение на зажимах генератора при номинальном токе нагрузки и затем, не изменив скорости вращения и сопротивления регулировочного реостата, уменьшают ток нагрузки до нуля, записывая показания приборов. Вследствие того, что с уменьшением тока нагрузки падение напряжения в цепи якоря уменьшается, соответственно возрастает и напряжение на зажимах генератора до значения U_0 (рис. 38, б). Тогда

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_H}{U_H} 100. \quad (20)$$

Регулировочная характеристика отражает зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянных значениях скорости вращения и напряжения на зажимах генератора, т. е.

$$I_H = f(I_H) \text{ при } n = \text{const и } U = \text{const.}$$

Можно сказать, что регулировочная характеристика показывает, как нужно изменять ток возбуждения, чтобы при из-

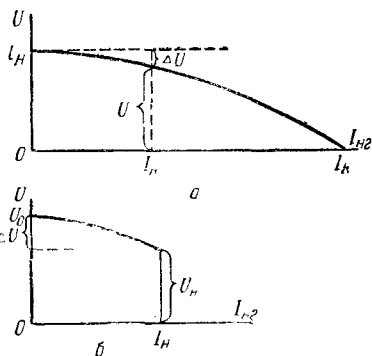


Рис. 38. Внешние характеристики генератора независимого возбуждения:

а — при понижении напряжения;
б — при повышении напряжения.

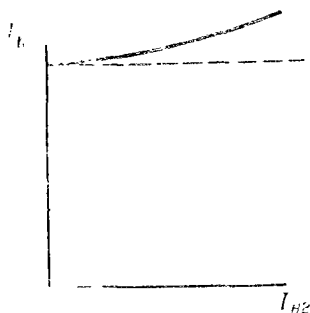


Рис. 39. Регулировочная характеристика генератора независимого возбуждения.

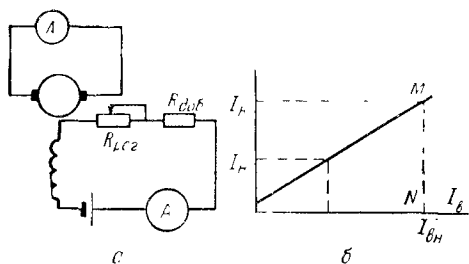


Рис. 40. Опыт короткого замыкания генератора независимого возбуждения:
а — схема; б — характеристика.

одновременно с увеличением тока якоря повышать э. д. с., увеличивая ток возбуждения I_{δ} (рис. 39).

Характеристикой короткого замыкания выражают зависимость тока короткого замыкания от тока возбуждения при постоянном значении скорости вращения и напряжении, равном нулю, т. е.

$$I_K = f(I_{\delta}) \text{ при } n = \text{const и } U = 0.$$

При снятии характеристики короткого замыкания величина тока короткого замыкания не должна превышать номинального значения. Для этого в цепь возбуждения, кроме регулировочного реостата, включают дополнительное сопротивление $R_{доп}$, чтобы значительно уменьшить ток возбуждения I_{δ} (рис. 40, а). Обмотку якоря замыкают накоротко через амперметр А.

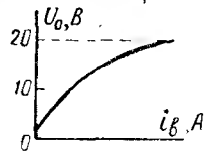
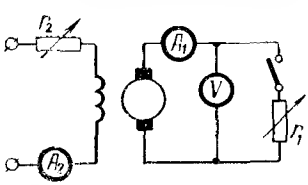
Поскольку ток возбуждения I_{δ} и соответственно магнитный поток Φ при снятии характеристики очень малы, то сталь машины не насыщена, в результате чего характеристика короткого замыкания представляет собой прямую линию (рис. 40, б).

При помощи характеристики короткого замыкания можно приблизительно определить значение тока короткого замыкания, который протекает в генераторе в тот момент, когда замыкание происходит при номинальном режиме работы. Для этого откладывают (точка N) значение тока возбуждения $I_{\delta н}$, соответствующее номинальному режиму работы генератора, затем продолжают линию характеристики до пересечения ее с перпендикуляром, восстановленным в точке N. Отрезок NM представляет собой в масштабе приблизительно величину тока короткого замыкания в номинальном режиме работы генератора.

КАРТОЧКА № 15 (228)

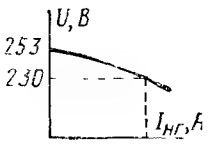
Генератор независимого возбуждения и его характеристики

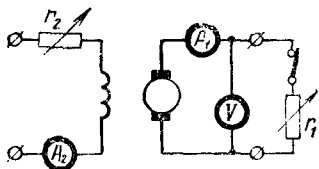
Скорость вращения генератора с независимым возбуждением увеличилась в 2 раза. Как изменилась э. д. с. генератора?	Не изменилась	547
	Увеличилась в 2 раза	577
	Увеличилась примерно в 2 раза	608

Определите э. д. с. остаточного магнетизма машины по графику 	2 В	706
	Около 20 В	674
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	625
Используя график предыдущего задания, найдите примерное значение номинального напряжения машины	Около 20 В	594
	Около 17 В	562
	Около 12 В	531
Какие приборы необходимы для снятия внешней характеристики? 	r_2, A_1, V	392
	r_1, r_2, A_1, A_2, V	354
	r_1, r_2, A_1, V	319
При холостом ходе генератора установлено номинальное напряжение на его зажимах 115 В. При номинальном токе напряжение на зажимах 103,5 В. Определите процентное изменение напряжения	5%	188
	10%	164
	15%	140

КАРТОЧКА № 16 (295)

Генератор независимого возбуждения и его характеристики

Определите процентное изменение напряжения по графику 	5%	100
	10%	80
	15%	120

Э. д. с. генератора $E = 240$ В. Сопротивление обмотки якоря $r_{\text{я}} = 0,4$ Ом. Определите напряжение на зажимах генератора при токе нагрузки 100 А	240 В	142
	230 В	186
	220 В	208
Какие приборы необходимы для снятия регулировочной характеристики? 	A_1, A_2, r_1, r_2, V	234
	$A_1, A_2, r_1, r_2,$	275
В схеме, изображенной выше, сопротивление реостата r_1 уменьшилось. Как изменилось показание вольтметра?	Не изменилось	334
	Уменьшилось	339
	Увеличилось	360
Как надо изменить сопротивление r_2 , чтобы в предыдущем случае показание вольтметра осталось неизменным?	Оставить без изменения	385
	Увеличить	422
	Уменьшить	456

§ 3. Генератор параллельного возбуждения и его характеристики

В генераторе параллельного возбуждения, который иногда называют *шунтовым*, обмотка возбуждения включена параллельно обмотке якоря (рис. 41, а).

При вращении якоря генератора магнитный поток остаточного магнетизма индуцирует в его обмотке небольшую э. д. с., а так как к якорю подключена обмотка возбуждения полюсов, то в ней появляется незначительный ток, обусловленный этой э. д. с. Ток возбуждения вызывает увеличение магнитного потока полюсов, что, в свою очередь, приводит к увеличению э. д. с. и т. д.

Величина установившегося напряжения холостого хода зависит от величины сопротивления цепи возбуждения, а также от степени насыщения магнитной системы машины.

Основные условия самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения таковы: а) наличие в стали полюсов остаточного магнетизма; б) правильное (согласное) соединение обмотки возбуждения и обмотки якоря, с тем чтобы магнитный поток.

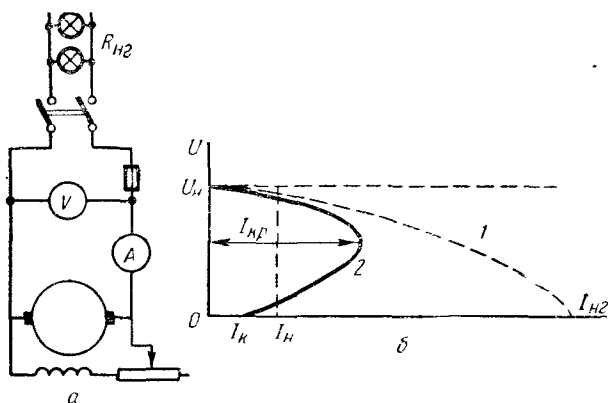


Рис. 41. Генератор параллельного возбуждения:
а — схема; б — внешняя характеристика.

создаваемый обмоткой возбуждения, совпадал по направлению с магнитным потоком остаточного магнетизма; в) выведение регулировочного реостата из цепи возбуждения; г) отключение нагрузки у генераторов параллельного возбуждения.

Отсутствие остаточного магнетизма редко наблюдается в машинах постоянного тока. Для восстановления остаточного магнетизма обмотку возбуждения на короткое время нужно подключить к источнику постоянного тока.

Если обмотки возбуждения и якоря включены так, что магнитные потоки полюсов и остаточного магнетизма направлены встречно, то происходит размагничивание полюсов, препятствующее возбуждению машины. Для возбуждения машины нужно изменить направление вращения якоря или переключить концы обмотки возбуждения.

Когда реостат в цепи обмотки возбуждения не выведен, по обмотке возбуждения протекает очень малый ток, недостаточный для самовозбуждения.

Если нагрузка не отключена, то ток в обмотке возбуждения недостаточен для самовозбуждения.

Характеристики холостого хода и регулировочная для генератора параллельного возбуждения снимаются таким же образом, как и для генератора независимого возбуждения; их вид и назначение те же. Характеристика короткого замыкания в этом случае подобна той же характеристике генератора независимого возбуждения; снять ее можно только по схеме независимого возбуждения, так как у короткозамкнутого генератора параллельного возбуждения не будет тока возбуждения.

Внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения существенно отличается от аналогичной характеристики генератора независимого возбуждения. Эту характеристику снимают по схеме, приведенной на рисунке 41, а.

Для сравнения на рисунке 41, 6 приведены внешние характеристики генератора независимого возбуждения (1) и параллельного возбуждения (2).

По мере увеличения нагрузки напряжение генератора независимого возбуждения постепенно понижается вследствие падения напряжения на сопротивлении обмотки якоря и размагничивающего действия реакции якоря. Ток возбуждения в генераторе независимого возбуждения при снятии внешней характеристики не изменяется, постоянна по величине и э. д. с. генератора.

У генератора параллельного возбуждения ток возбуждения I_B зависит от напряжения машины ($I_B = \frac{U}{r_B}$), а так как напряжение машины U с увеличением нагрузки уменьшается, то снижается и величина тока возбуждения, что приводит к большему изменению напряжения по сравнению с генератором независимого возбуждения. С увеличением нагрузки происходит размагничивание генератора, и поэтому в генераторе параллельного возбуждения ток нагрузки возрастает только до определенного, критического значения тока $I_{кр}$, превышающего номинальный ток в 2—2,5 раза.

При достижении критического тока напряжение машины сразу понижается до нуля, а в обмотке якоря протекает незначительный по величине ток короткого замыкания, обусловленный э. д. с. остаточного магнетизма.

Напряжение генератора параллельного возбуждения вначале изменяется незначительно, так как, пока сталь полюсов еще насыщена, влияние размагничивания машины сказывается мало. По мере увеличения тока нагрузки происходит уменьшение напряжения и дальнейшее размагничивание машины, что приводит к более резкому понижению напряжения, а при достижении критического тока к быстрому исчезновению («сбрасыванию») напряжения и нагрузки.

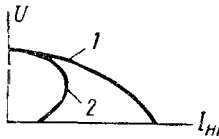
Ток короткого замыкания не опасен для генератора параллельного возбуждения, но критический ток может вызвать круговой огонь на коллекторе.

Генераторы параллельного возбуждения нашли широкое применение в сельском хозяйстве (машинные возбудители синхронных генераторов, на автомобилях, тракторах и в зарядных агрегатах).

КАРТОЧКА № 17 (302)

Генератор параллельного возбуждения и его характеристики

Какое из приведенных условий не является условием самовозбуждения генератора с параллельным возбуждением?	Наличие э. д. с. остаточного магнетизма	656
	Правильная полярность тока в обмотке возбуждения	689
	Малое сопротивление обмотки возбуждения	707
	Большое сопротивление обмотки якоря	675

Покажите внешнюю характеристику генератора параллельного возбуждения 	Кривая 1	626
	Кривая 2	595
У генератора с параллельным возбуждением при увеличении нагрузки (найдите неверное продолжение фразы)	уменьшается э. д. с. из-за увеличения реакции якоря	563
	уменьшается напряжение на зажимах вследствие увеличения падения напряжения в обмотке якоря	532
	уменьшается магнитный поток, создаваемый током возбуждения	501
	уменьшается э. д. с. остаточного магнетизма	472
Какой ток опасен для генератора параллельного возбуждения?	Ток короткого замыкания	440
	Критический ток	405
Как зависит от скорости вращения якоря ток короткого замыкания генератора параллельного возбуждения?	Не зависит	387
	С увеличением скорости вращения якоря ток короткого замыкания увеличивается	355
	С увеличением скорости вращения якоря ток короткого замыкания уменьшается	320

§ 4. Генератор последовательного возбуждения и его характеристики

В генераторе последовательного возбуждения, который также получил название *серийного*, обмотка возбуждения выполнена из малого числа витков провода большого сечения и включена последовательно с обмоткой якоря. Таким образом, весь ток нагрузки проходит через обмотку возбуждения.

Характеристики холостого хода и короткого замыкания генератора последовательного возбуждения снимают по схеме независимого возбуждения. Общий вид этих характеристик такой же, как и для генератора независимого возбуждения. Регулировочную характеристику генератора последовательного возбуждения не снимают.

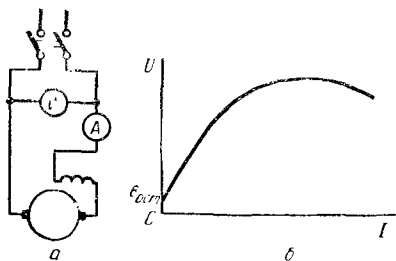


Рис. 42. Генератор последовательного возбуждения:
а — схема; б — внешняя характеристика.

На рисунке 42, а представлена схема генератора последовательного возбуждения, по которой снимают его внешнюю характеристику

$$U = f(I_{\text{яг}}) \text{ при } n = \text{const и } r_{\text{я}} = \text{const.}$$

В режиме холостого хода генератор не возбужден, вольтметр показывает значение э. д. с. $\epsilon_{\text{ост}}$ остаточного магнетизма (рис. 42, б). В рабочем режиме по мере увеличения тока нагрузки возрастают магнитный поток полюсов и напряжение машины. Сначала на-

пряжение увеличивается почти прямо пропорционально току нагрузки, а затем при дальнейшем увеличении тока нагрузки происходит насыщение стали и напряжение растет медленнее.

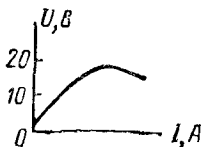
При большом насыщении стали машины, когда магнитный поток полюсов почти не увеличивается, напряжение машины при дальнейшем росте тока нагрузки будет даже уменьшаться вследствие увеличения падения напряжения на активном сопротивлении обмотки якоря.

Поскольку напряжение генератора сильно зависит от нагрузки, то подобные генераторы широкого применения не нашли.

КАРТОЧКА № 18 (204)

Генератор последовательного возбуждения и его характеристики

Ток нагрузки изменяется от 0 до номинального.	Увеличивается	299
	Уменьшается	249
	а) увеличивается; б) уменьшается	256
	а) уменьшается; б) увеличивается	189
Чем определяется величина э. д. с. при холостом ходе генератора последовательного возбуждения?	Остаточным магнетизмом полюсов	165
	Скоростью вращения якоря	141
	Остаточным магнетизмом полюсов и скоростью вращения якоря	101
Определите, чему равна э. д. с. холостого хода, используя внешнюю характеристику генератора последовательного возбуждения?	2 В	81
	20 В	121



Какова основная причина, ограничивающая рост напряжения на зажимах генератора последовательного возбуждения при увеличении нагрузки?	Реакция якоря	143
	Падение напряжения на активном сопротивлении якоря	187
	Насыщение магнитопровода	209
В чем заключается основной недостаток генератора последовательного возбуждения?	Малая величина э. д. с. остаточного магнетизма	235
	Большой ток короткого замыкания	276
	Резкое уменьшение э. д. с. при изменении нагрузки	424

§ 5. Генератор смешанного возбуждения и его характеристики

В генераторе смешанного возбуждения, который иногда называют *компаундным*, имеются две обмотки возбуждения, одна из них включена последовательно, а другая параллельно по отношению к обмотке якоря (рис. 43, а).

Количество витков каждой обмотки рассчитывают так, чтобы номинальное напряжение на зажимах генератора при холостом ходе обеспечивалось параллельной обмоткой возбуждения. Последовательная обмотка возбуждения создает м. д. с., которая индуктирует в якоре э. д. с., достаточную для того, чтобы компенсировать падение напряжения в якоре и действие реакции якоря. На рисунке 43, б изображена внешняя характеристика генератора смешанного возбуждения. Кривая 3 представляет собой внешнюю характеристику этого генератора при отключенной обмотке параллельного возбуждения, а кривая 2 — ту же характеристику с одной только обмоткой параллельного возбуждения. Сложение ординат кривых 3 и 2 дает кривую 1, представляющую собой внешнюю характеристику генератора смешанного возбуждения. Как видно из кривой 1, напряжение генератора при изменении нагрузки остается почти постоянным.

Приведенную на рисунке 44, в внешнюю характеристику 1 получают в том случае, когда обмотки возбуждения включены согласно (рис. 44, а), т. е. так, что магнитные потоки обеих обмоток складываются. При встречном включении (рис. 44, б) магнитные потоки обмоток возбуждения вычитаются, а напряжение генератора при

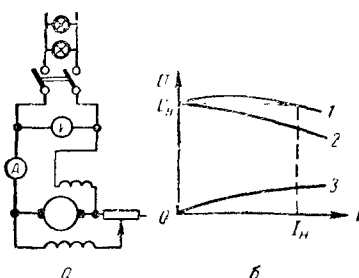


Рис. 43. Генератор смешанного возбуждения:

а — схема; б — внешняя характеристика; 1 — общая; 2 — при включенной только одной обмотке параллельного возбуждения; 3 — при включенной только одной обмотке последовательного возбуждения.

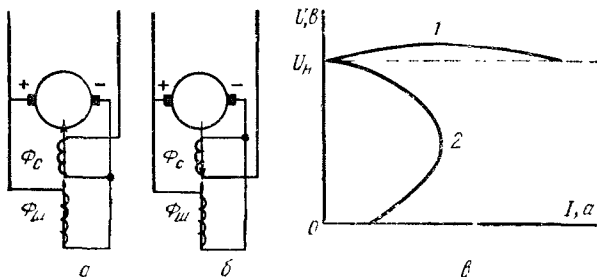


Рис. 44. Генератор смешанного возбуждения:
 а — при согласном включении обмоток; б — при встречном
 включении обмоток; в — внешние характеристики для схем а
 (1) и б (2).

увеличении нагрузки резко понижается (кривая 2). Встречное включение обмоток возбуждения генератора может применяться, если нужно получить круто падающую внешнюю характеристику (например, для сварочного генератора).

У генераторов смешанного возбуждения обмотку параллельного возбуждения подключают к щеткам машины, образуя так называемую *схему с коротким шунтом* (рис. 45, а). Здесь к обмотке возбуждения подведено наибольшее напряжение, что обеспечивает максимальный ток возбуждения. В двигателях смешанного возбуждения применяют *схему длинного шунта* (рис. 45, б). При этом к параллельной обмотке возбуждения подведено также наибольшее напряжение.

Напряжение на зажимах генератора смешанного возбуждения при соединении по схеме короткого шунта

$$U = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}} - I_{\text{шт}} R_{\text{с.о}} \quad \text{В}, \quad (24)$$

где E — э. д. с. якоря, В;

$I_{\text{я}}$ — ток якоря, А;

$I_{\text{шт}}$ — ток нагрузки, А;

$R_{\text{я}}$ — сопротивление обмотки якоря, Ом;

$R_{\text{с.о}}$ — сопротивление серийной обмотки, Ом.

Регулировочная характеристика генератора смешанного возбуждения, которую снимают при согласном включении обмоток возбуждения, показана на рисунке 46.

Характеристика холостого хода этого генератора имеет такой же вид, как и аналогичная характеристика генератора независимого возбуждения. Характеристику короткого замыкания снимают по схеме независимого возбуждения.

Широкое распространение генераторов смешанного возбуждения объясняется весьма ценным их свойством — поддерживать постоянное напряжение при изменении нагрузки.

Пример 1. Определить э. д. с. генератора с параллельным возбуждением и величину тока в якоря, если напряжение на его зажимах $U = 230$ В, сопротивление всей цепи якоря $R_{\text{я}} = 0,1$ Ом, сопротивление параллельной обмотки возбуждения $r_{\text{в}} = 115$ Ом и сопротивление цепи нагрузки $R_{\text{нг}} = 2,3$ Ом (рис. 47).

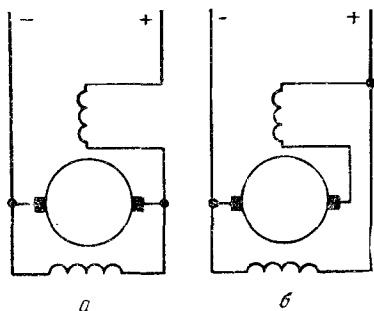


Рис. 45. Схемы включения обмоток при смешанном возбуждении: а — «короткий шунт»; б — «длинный шунт».

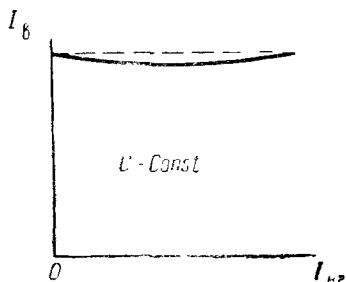


Рис. 46. Регулировочная характеристика генератора смешанного возбуждения.

Решение. Ток во внешней цепи

$$I_{\text{шт}} = \frac{U}{R_{\text{шт}}} = \frac{230}{2,3} = 100 \text{ А.}$$

Ток возбуждения

$$I_{\text{в}} = \frac{U}{r_{\text{в}}} = \frac{230}{115} = 2 \text{ А.}$$

Ток в якоре

$$I_{\text{я}} = I_{\text{шт}} + I_{\text{в}} = 100 + 2 = 102 \text{ А.}$$

Э. д. с. генератора

$$E = U + I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 230 + 102 \cdot 0,1 = 240,2 \text{ В.}$$

Пример 2. Определить процентное изменение напряжения генератора с параллельным возбуждением, если $U_{\text{н}} = 230 \text{ В}$, а напряжение генератора после его разгрузки $U_0 = 253 \text{ В}$.

Решение. Процентное повышение напряжения генератора

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100 = \frac{253 - 230}{230} \cdot 100 = 10\%.$$

Пример 3. Определить ток якоря генератора с параллельным возбуждением (рис. 48, а), если

$$E = 120 \text{ В, } R_{\text{я}} = 0,1 \text{ Ом, } R_{\text{шт}} = 10 \text{ Ом, } r_{\text{в}} = 40 \text{ Ом.}$$

Решение. Сложим параллельно включенные сопротивления $R_{\text{шт}}$ и $r_{\text{в}}$ и считаем общее сопротивление

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{шт}} r_{\text{в}}}{R_{\text{шт}} + r_{\text{в}}} = \frac{10 \cdot 40}{10 + 40} = 8 \text{ Ом.}$$

Итак, схема примет вид, изображенный на рисунке 48, б. Ток якоря

$$I_{\text{я}} = \frac{E}{R_{\text{я}} + R_{\text{общ}}} = \frac{120}{8 + 0,1} = 14,8 \text{ А.}$$

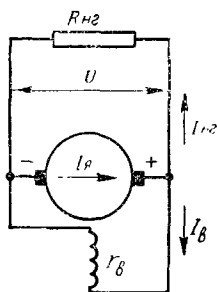


Рис. 47. Схема к примеру 1.

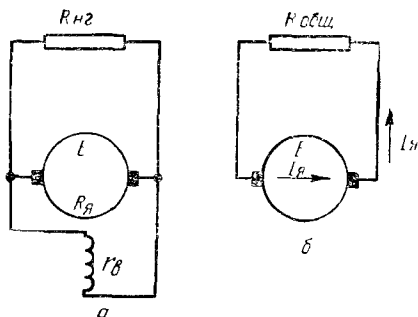


Рис. 48. Схемы к примеру 3:
а — до преобразования; б — после преобразования.

Пример 4. Найти э. д. с. генератора со смешанным возбуждением, если $U_H = 230$ В, $I_H = 2$ А, $R_{H2} = 0,4$ Ом, $I_{HГ} = 38$ А, $R_{с.о} = 0,1$ Ом.

Решение. Ток якоря

$$I_H = I_{HГ} + I_H = 38 + 2 = 40 \text{ А}$$

Э. д. с. генератора

$$E = U + I_H R_{H2} + I_{HГ} R_{с.о} = 230 + 40 \cdot 0,4 + 38 \cdot 0,1 = 237,8 \text{ В.}$$

КАРТОЧКА № 19 (231)

Генератор смешанного возбуждения и его характеристики

По приведенной внешней характеристике генератора смешанного возбуждения определите, как включены обмотки возбуждения



Согласно

340

Встречно

361

Как должны быть включены обмотки возбуждения компаундного генератора, чтобы их магнитные потоки складывались?

Согласно

25

Встречно

43

Определите напряжение на зажимах генератора, если э. д. с. $E = 125,2$ В, ток якоря 50 А, ток в шунтовой обмотке 2 А, сопротивление якоря 0,1 Ом, сопротивление серийной обмотки 0,1 Ом (см. рис. 45, а)

114,8 В

457

115,4 В

488

115,2 В

518

Регулировочная характеристика коммандного генератора показывает, как надо изменять ток в шунтовой обмотке	чтобы при изменении нагрузки поддерживать постоянным напряжение на зажимах генератора	548
	чтобы при изменении нагрузки поддерживать постоянным напряжение на зажимах потребителя	578
Как надо включить обмотки возбуждения коммандного генератора, чтобы уменьшить влияние тока нагрузки на напряжение генератора?	Согласно	609
	Встречно	640

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, необходимо ознакомиться с основными правилами их проведения и правилами техники безопасности, которые следует неукоснительно соблюдать.

1. Нельзя прикасаться к оголенным проводам и токоведущим частям, находящимся под напряжением.

2. Любые переключения в схемах нужно выполнять только при отключении рубильника.

3. При смене предохранителя рубильник необходимо отключить.

4. Работая возле электрических машин, важно следить за тем, чтобы одежда не прикасалась к вращающимся частям машины. Одежда должна быть прочной и удобной (например, комбинезон), длинные волосы нужно убирать под косынку или берет.

5. Новую собранную или пересоединенную схему нельзя включать в сеть без предварительной проверки ее преподавателем.

6. Сборку сложных схем необходимо начинать с последовательных токовых цепей, а затем подключать параллельные цепи.

7. В схему можно включать только те измерительные приборы, реостаты, и аппараты, которые соответствуют рабочим значениям токов и напряжений.

8. Прежде чем приступить к записи показаний приборов, необходимо предварительно проделать весь опыт.

9. Показания приборов следует записывать в заранее подготовленную таблицу.

10. По окончании работы нужно показать преподавателю результаты опыта и получить разрешение на разборку схемы.

11. Графики по результатам опытов выполнять в масштабе.

Цели работы. Изучить процессы пуска и регулирования генератора, снять характеристики холостого хода.

Содержание работы. 1. Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными генератора постоянного тока.

2. Определить выводы обмоток якоря последовательного и параллельного возбуждения.

3. Проверить установку щеток на геометрической нейтральной.

4. Подсоединить приборы и составить схему, по которой снять характеристику холостого хода.

5. Записать в отчете схемы опытов, внести в таблицу их результаты и по полученным данным построить характеристику холостого хода.

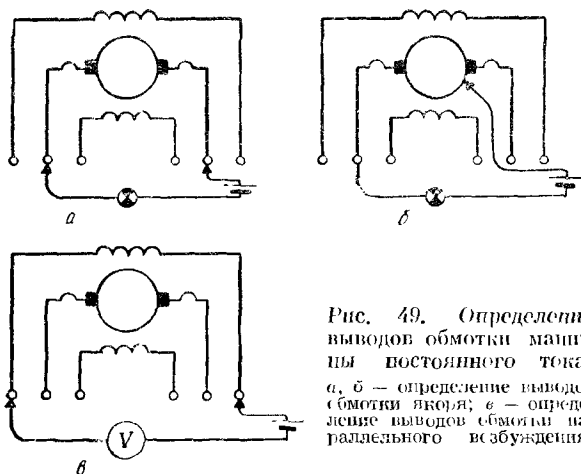


Рис. 49. Определение выводов обмотки машины постоянного тока: а, б — определение выводов обмотки якоря; в — определение выводов обмотки параллельного возбуждения.

Пояснения к работе. Для ознакомления с конструкцией используют разобранный на составные части машину постоянного тока.

Выводы обмоток можно определить при помощи вольтметра или контрольной лампы. Для этого разъединяют все выводы на доске зажимов и по очереди прикасаются наконечниками проводов, соединяющих аккумуляторную батарею и контрольную лампу, к двум любым зажимам до тех пор, пока лампа не загорится (рис. 49, а). Лампа ярко горит в том случае, если цепь контрольной лампы присоединена к обмотке якоря или к обмотке последовательного возбуждения. При подключении ее к обмотке параллельного возбуждения лампа не загорается или горит очень слабым накалом, так как эта обмотка обладает большим сопротивлением (порядка десятков ом).

Затем выясняют, какая именно обмотка найдена: якоря или последовательного возбуждения. Для этого прикасаются одним наконечником к найденному зажиму, а другим — к коллектору машины (рис. 49, б). Если лампа загорается, значит, найдена обмотка якоря, в противном случае обмотка последовательного возбуждения.

Для определения выводов обмотки параллельного возбуждения пользуются вольтметром (рис. 49, в). Ток, потребляемый вольтметром, мал, и при подключении наконечников к зажимам обмотки параллельного возбуждения стрелка вольтметра отклоняется.

Выводы обмоток обозначают следующими буквами на доске зажимов: Я — обмотка якоря; И — обмотка добавочных полюсов; П — обмотка параллельного возбуждения (шунтовая); С — обмотка последовательного возбуждения (серийная). Начало обмотки обозначают цифрой 1, а конец — цифрой 2.

Согласно ГОСТу 483—66, обозначение выводов выполняют так, чтобы при правом вращении якоря в режиме электродвигателя (по часовой стрелке), если смотреть со стороны вала, ток в обмотках протекал в направлении от начала 1 к концу 2.

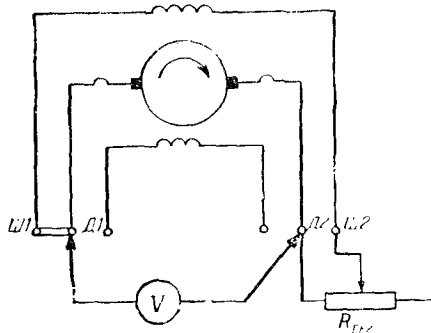


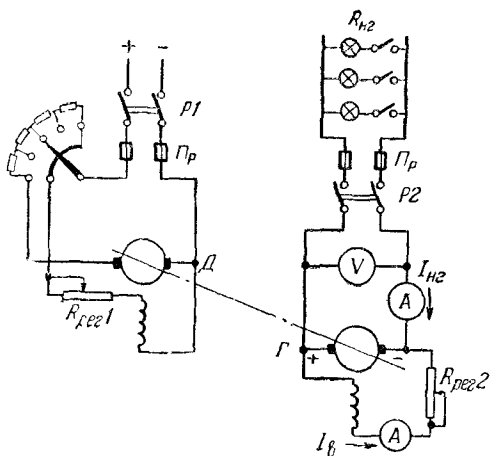
Рис. 50. Схема соединения генератора для самовозбуждения.

Затем останавливают генератор и соединяют между собой зажимы $D1$ и $III1$, а зажимы $D2$ и $III2$ через реостат $R_{\text{рег}}$ (рис. 50). После этого начинают вращать якорь генератора и выводят полностью сопротивление регулирующего реостата до момента начала возбуждения генератора. Если при полностью введенном сопротивлении реостата генератор не возбуждается, изменяют направление вращения якоря генератора или переставляют перемычку, соединяя зажимы $D2$ и $III1$ через регулировочный реостат, а зажимы $D1$ и $III2$ перемычкой. Если генератор исправен, он возбуждается.

Для снятия характеристик подбирают необходимые приборы, оборудование и составляют схему (рис. 51).

Якорь исследуемого генератора приводится во вращение двигателем постоянного тока с номинальной скоростью вращения, контролируемой тахометром и поддерживаемой постоянной на протяжении опыта.

Снятие характеристики эдсмотого зода. Вращая генератор с постоянной скоростью при выключенном рубильнике $P2$, дают полное возбуждение до тех пор, пока напряжение генератора не достигнет величины $(1,3 \div 1,4) U_n$. При этом записывают показания приборов в таблицу, начиная с наибольшего. Затем постепенно уменьшают ток возбуждения и продолжают запись показаний, доводя ток возбуждения до нуля. Форма таблицы, в которую рекомендуется записывать результаты опыта, приведена ниже.



P_1 и P_2 — рублишки; Pr — предохранитель; $R_{\text{нг}}$ — нагрузочный ламповый реостат; $R_{\text{рег}}^1$ — шунтовый реостат в цепи обмотки возбуждения двигателя; $R_{\text{рег}}^2$ — шунтовый реостат в цепи обмотки возбуждения генератора; D — двигатель; G — генератор.

Номер измерения	I_B , А	U , В

Последнее измерение делают при разомкнутой цепи возбуждения, что дает значение э. д. с. остаточного магнетизма.

По результатам опытов строят характеристику холостого хода.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Снятие характеристик генератора постоянного тока при нагрузке

Цель работы. Исследовать работу генератора при нагрузке.

План работы. 1. Подобрать приборы и составить схемы, по которым снять внешнюю и регулировочную характеристики генератора постоянного тока.

2. Начертить в отчете схемы опытов, таблицы и на основании полученных данных построить характеристики.

Пояснения к работе. Снятие внешней характеристики. Собирают схему для снятия характеристики (рис. 51). Включают рубильник $P2$ и нагружают генератор до номинального значения тока, установив при этом на его зажимах номинальное напряжение. Показания приборов записывают в таблицу.

Номер измерения	$I_{нг}, A$	U, B	I_B, A

Разгружая генератор до холостого хода и сохраняя скорость его вращения неизменной, при одном и том же положении регулировочного реостата $R_{рег2}$ делают 5—7 измерений. При разгрузке генератора параллельного возбуждения его напряжение повысится на 20—35% U_B .

Обратите внимание на изменение тока возбуждения при изменении нагрузки на генератор.

Процентное повышение напряжения определяют по формуле (20).

По полученным данным строят внешнюю характеристику генератора.

Снятие регулировочной характеристики. Возбуждают генератор и в режиме холостого хода устанавливают номинальное напряжение. Затем постепенно нагружают генератор и, увеличивая при этом ток возбуждения так, чтобы напряжение генератора поддерживать номинальным, делают 5—7 измерений, результаты которых записывают в таблицу.

Номер измерения	U_B, B	$I_{нг}, A$	I_B, A

При снятии этой характеристики скорость вращения якоря генератора поддерживают постоянной.

По полученным данным строят регулировочную характеристику.

Глава VI

ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 1. Принцип действия двигателя постоянного тока

Принцип действия электрических двигателей постоянного тока основан на взаимодействии магнитных полей полюсов машины и проводников обмотки якоря, по которым проходит ток.

Опытами установлено, что в электродвигателях механические усилия приложены не к проводникам обмотки якоря, а к зубцам стали якоря, так как именно в стали сосредоточены почти все силовые линии магнитных потоков полюсов и якоря. Обмотка намотана на якорь таким образом, что если одна сторона витка находится под северным полюсом, то вторая — под южным, поэтому, чтобы якорь вращался все время в одну сторону, при переходе провода из-под северного полюса под южный направление тока в проводе должно меняться на противоположное.

Коллектор предназначен для изменения направления тока в проводах обмотки при переходе проводов через геометрическую нейтраль. Виток *I—2* (рис. 52, *I*) помещен в магнитное поле. Концы витка припаяны к коллекторным пластинам *a* и *b*. Пользуясь правилом левой руки, можно определить, что виток будет вращаться против направления движения часовой стрелки. В положении *II* виток проходит геометрическую нейтраль или по инерции, если он один, или под действием других витков, не находящихся в данный момент на нейтральной, если обмотка состоит из нескольких витков. В положении *III*, когда сторона *1* витка перешла в зону действия южного полюса, а сторона *2* витка — в зону действия северного полюса, направление тока в витке изменилось на противоположное. Теперь под положительной щеткой оказалась коллекторная пластина *b*, а под отрицательной щеткой — пластина *a*. Пользуясь правилом левой руки, можно определить, что виток будет продолжать вращаться в ту же сторону.

Совокупность всех сил, действующих на проводники обмотки якоря, создает электромагнитный вращающий момент двигателя.

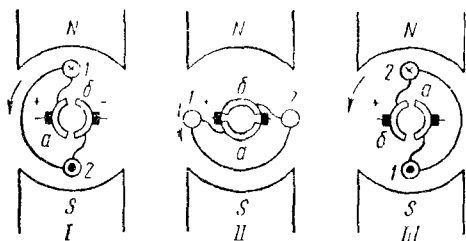
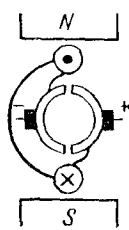


Рис. 52. К объяснению назначения коллектора двигателя постоянного тока.

Принципы действия двигателя постоянного тока

Какой закон положен в основу работы двигателя постоянного тока?	Закон Ома	657
	Закон Ампера	690
	Закон электромагнитной индукции	708
Какое правило используется для определения направления силы, действующей на проводник с током в магнитном поле?	Правило правой руки	676
	Правило левой руки	627
	Правило буравчика	596
В какую сторону вращается этот виток? 	По часовой стрелке	564
	Против часовой стрелки	533
Что произойдет, если изменить полярность напряжения, подведенного к щеткам, и одновременно поменять местами северный и южный полюсы магнита?	Виток начнет вращаться в противоположную сторону	562
	Ничего не изменится, виток будет вращаться в ту же сторону	473
Что произойдет, если коллектор заменить двумя кольцами, через которые напряжение будет подводится к витку?	Скорость вращения витка увеличится	441
	Виток не будет вращаться	406

§ 2. Уравнение равновесия моментов

Кроме электромагнитного вращающего момента M , развиваемого якорем двигателя, к его валу могут быть приложены момент холостого хода M_0 , полезный момент M_2 на валу двигателя и динамический момент $M_{дин}$.

Момент холостого хода M_0 определяется потерями на трение в подшипниках, якоря о воздух, щеток о коллектор, вентиляционными потерями и потерями в стали.

Полезный момент M_2 — это противодействующий момент рабочей машины, приводимой в действие данным двигателем; этот момент зависит от нагрузки машины.

Динамический момент возникает при всяком изменении скорости вращения вала двигателя и определяется формулой

$$M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (22)$$

где J — момент инерции вращающихся частей двигателя и рабочей машины;

ω — угловая скорость вращения.

Если скорость двигателя повышается, то динамический момент увеличивает тормозной момент на валу двигателя, а если она уменьшается, например при остановке двигателя, то динамический момент уменьшает общий тормозной момент двигателя.

Согласно уравнению равновесия моментов, вращающий и тормозной моменты в любых условиях работы двигателя находятся во взаимном равновесии, т. е. равны друг другу по величине, но направлены в противоположные стороны:

$$M = M_0 + M_2 \pm M_{\text{дин}}. \quad (23)$$

При установившемся режиме работы скорость вращения двигателя постоянна, а динамический момент равен нулю. Если сумму моментов $M_0 + M_2$ назвать статическим моментом сопротивления на валу двигателя $M_{\text{ст}}$, то

$$M = M_{\text{ст}} = M_0 + M_2. \quad (24)$$

В установившемся режиме работы вращающий момент двигателя и статический момент сопротивления на его валу находятся во взаимном равновесии.

Мощность, развиваемую якорем, называют электромагнитной:

$$P_{\text{э}} = E_{\text{я}} I_{\text{я}}.$$

Из механики известно, что эта же мощность может быть выражена произведением вращающего момента на угловую скорость:

$$P_{\text{э}} = M \omega.$$

Тогда $E_{\text{я}} I_{\text{я}} = M \omega$.

Отсюда

$$M = \frac{E_{\text{я}} I_{\text{я}}}{\omega}.$$

Но так как по формуле (13) $E_{\text{я}} = \frac{pN}{60a} n \Phi$, а $\omega = \frac{2\pi n}{60}$,

то

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_{\text{я}} \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (25)$$

Так как выражение $\frac{pN}{2\pi a}$ для данной машины величина постоянная, то это можно обозначить как коэффициент C_M . Тогда

$$M = C_M I_{\text{я}} \Phi \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (26)$$

В практике употребляют следующую формулу момента:

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{2 \cdot 3,14n} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (27)$$

где P_2 — мощность двигателя на валу, Вт;

n — скорость вращения вала двигателя, об/мин.

Так как мощность двигателя на валу указывают на заводском щитке в киловаттах, то коэффициент 9,55 нужно увеличить в 10^3 раз, значит,

$$M = 9550 \cdot \frac{P_2}{n} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

КАРТОЧКА № 21 (364)

Уравнение равновесия моментов

Какой из названных моментов пропорционален току якоря двигателя?	Электромагнитный момент	380
	Момент холостого хода	356
	Полезный момент	321
	Динамический момент	300
Определите электромагнитный момент, если момент холостого хода двигателя равен 0,1 Н·м; полезный момент — 2 Н·м; динамический момент — 0,5 Н·м и скорость вращения двигателя увеличивается	1,6 Н·м	200
	2,6 Н·м	210
Определите вращающий (электромагнитный) момент двигателя, если при скорости 100 рад/с в обмотке якоря вырабатывается противо-э. д. с. 100 В, а двигатель потребляет ток 10 А	$M = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$	236
	$M = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$	277
Как изменился вращающий момент двигателя, если ток якоря и магнитный поток возбуждения увеличились в 2 раза	Увеличился в 2 раза	458
	Увеличился в 4 раза	489
	Не изменился	519
Определите статический момент сопротивления на валу двигателя мощностью 1 кВт, развивающего постоянную скорость $n = 9550$ об/мин	$M_{ст} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$	549
	$M_{ст} = 9,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$	579
	Для решения задачи недостаточно данных	610

§ 3. Уравнение равновесия э. д. с.

При вращении якоря электродвигателя в магнитном поле полюсов в обмотке якоря индуцируется э. д. с. $E_{\text{дв}}$. Согласно правилу правой руки, эта э. д. с. направлена против тока, протекающего в обмотку якоря из сети, и ее поэтому называют противо-э. д. с. (рис. 53).

Кроме противо-э. д. с., на сопротивлении цепи обмотки якоря при протекании по ней тока создается падение напряжения $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$. Тогда уравнение э. д. с. двигателя

$$U = E_{\text{дв}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}} \text{ В.} \quad (28)$$

Из формулы (28) можно определить величину тока в якоре при работе электродвигателя:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{дв}}}{R_{\text{я}}} \text{ А.} \quad (29)$$

Сопротивление цепи якоря мало. При пуске двигателя в ход, когда якорь неподвижен, противо-э. д. с. в якоре равна нулю. Поэтому ток в якоре в момент пуска достигает очень большой величины:

$$I_{\text{я.пуск}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}.$$

Для уменьшения пускового тока в цепь обмотки якоря включают специальный (пусковой) реостат (рис. 54).

Сопротивление пускового реостата можно определить из формулы

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}} + R_{\text{реост}}},$$

откуда

$$R_{\text{реост}} = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{I_{\text{я}}} \text{ Ом.} \quad (30)$$

Назначение реостата можно пояснить, рассмотрев приведенные ниже примеры.

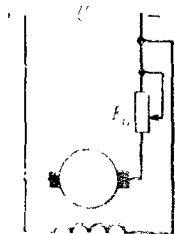


Рис. 54. Включение пускового реостата в цепь обмотки якоря двигателя.

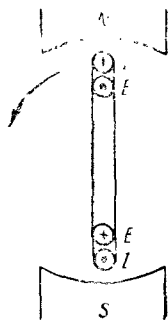


Рис. 53. Направление тока и противо-э. д. с. в обмотке якоря двигателя.

Пример 1. Определить ток, потребляемый якорем двигателя из сети при пуске в ход без реостата и с реостатом, сопротивление которого равно $R_{\text{реост}} = 1,4 \text{ Ом}$, если напряжение сети $U = 115 \text{ В}$, противо-э. д. с. $E_{\text{дв}} = 110 \text{ В}$, сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Решение. Ток якоря при работе двигателя

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{дв}}}{R_{\text{я}}} = \frac{115 - 110}{0,1} = 50 \text{ А.}$$

Ток якоря при пуске в ход двигателя без реостата

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} = \frac{115}{0,1} = 1150 \text{ А.}$$

Ток в якоре при пуске с реостатом

$$I_{\text{я}} = \frac{U}{R_{\text{я}} + R_{\text{реост}}} = \frac{115}{0,1 + 1,4} \approx 76,6 \text{ А.}$$

Следовательно, применение пускового реостата существенным образом влияет на снижение пускового тока, благодаря чему предотвращается возможность повреждения обмотки якоря.

Обычно пусковой реостат подбирают с таким расчетом, чтобы он уменьшал пусковой ток до значения $(1,5 \div 2,0) I_{\text{н}}$, что приводит к экономии материалов при изготовлении сопротивления реостата, а также к улучшению условий пуска.

Пример 2. Подсчитать сопротивление пускового реостата для электродвигателя, номинальный ток которого $I_{\text{н}} = 50 \text{ А}$, сопротивление якоря $R_{\text{я}} = 0,05 \text{ Ом}$, напряжение сети 230 В.

Решение. Принимаем, что пусковой ток в 2 раза больше номинального:
 $I_{\text{я.пуск}} = 2I_{\text{н}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ А.}$

Определяем сопротивление реостата:

$$R_{\text{реост}} = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{I_{\text{я}}} = \frac{230 - 100 \cdot 0,05}{100} \approx 2,25 \text{ Ом.}$$

Как было сказано раньше, в установившемся режиме вращающий момент, развиваемый на валу двигателя, уравнивается статическим моментом. При изменении нагрузки нарушается равновесие моментов, и для его восстановления изменяется и вращающий момент двигателя. Например, при увеличении нагрузки скорость вращения якоря двигателя уменьшается, это вызовет снижение противо-э. д. с. двигателя, а так как ток якоря $I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{дв}}}{R_{\text{я}}}$, то при уменьшении противо-э. д. с. он увеличится, что станет причиной соответствующего возрастания вращающего момента двигателя согласно формуле (26). Наоборот, при уменьшении нагрузки двигателя скорость вращения якоря двигателя увеличится, противо-э. д. с. возрастет, что вызовет уменьшение тока якоря и соответственно вращающего момента двигателя.

Таким образом, противо-э. д. с. является регулятором потребления тока двигателя.

Пример 3. Определить вращающий момент двигателя мощностью 4 кВт, если $n = 1000 \text{ об./мин.}$

Решение. Вращающий момент двигателя

$$M = 9550 \frac{P_2}{n} = 9550 \frac{4}{1000} = 38,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

КАРТОЧКА № 22 (235)

Уравнение равновесия э. д. с.

Какое из уравнений 1) $E - U = I_{\text{я}} R_{\text{я}}$, 2) $U - E = I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ характеризует а) генератор; б) двигатель?	а) первое; б) второе	641
	а) второе; б) первое	658

Найдите э. д. с. двигателя, если известно, что активное сопротивление цепи якоря 0,4 Ом, потребляемый ток 10 А, напряжение сети 100 В	100 В	691
	99 В	709
Определите напряжение сети, если номинальный ток двигателя 10 А, э. д. с. двигателя при номинальной скорости вращения 99 В, сопротивление цепи якоря 0,4 Ом	100 В	677
	99 В	628
При условиях предыдущей задачи определите пусковой ток двигателя (при $n = 0$)	110 А	597
	100 А	565
	1000 А	534
Какое сопротивление надо включить в цепь якоря, чтобы при условиях предыдущей задачи пусковой ток не превышал 20 А?	3,7 Ом	503
	4,9 Ом	474

§ 4. Двигатель параллельного возбуждения

У двигателя параллельного возбуждения (шунтового) обмотка возбуждения включена параллельно обмотке якоря. Для пуска двигателя в ход применяют трехзакимный пусковой реостат (рис. 55). Напряжение сети подают к двигателю через рубильник P . Один провод подключен непосредственно к двигателю, а второй — к зажиму L пускового реостата. Ток по металлической рукоятке реостата поступает на металлическую дугообразную планку и через шунтовой реостат $R_{ш}$ — на параллельную обмотку возбуждения. Это одна цепь тока. Большая часть тока проходит по другой цепи: металлическая рукоятка реостата — пусковое сопротивление $R_{п}$ — обмотка якоря. В начале пуска включены все элементы пускового сопротивления. По мере разгона двигателя рукоятку реостата поворачивают, уменьшая пусковое сопротивление реостата. В рабочем режиме пусковое сопротивление $R_{п}$ выведено полностью. Зажимы реостата имеют следующие обозначения: L — линия, $Я$ — якорь и $Ш$ — шунт.

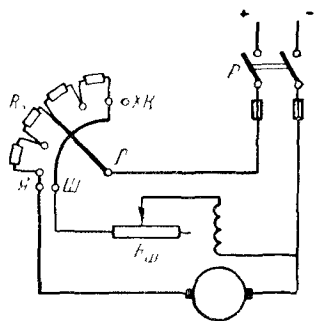


Рис. 55. Схема двигателя параллельного возбуждения.

Так как вращающий момент двигателя $M = C_M \Phi I_n$, то для того, чтобы пусковой момент при пуске был наибольшим, нужно создать максимальный магнитный поток Φ полюсов. Поэтому пусковой реостат снабжен соединенной с обмоткой возбуждения дугообразной металлической планкой, по которой к обмотке возбуждения при пуске подводит полное напряжение сети, что обеспечивает достаточный для пуска ток возбуждения. Кроме того, при выведении рукоятки реостата на холостой контакт XH цепь возбуждения оказывается замкнутой на реостат и якорь, вследствие чего во время прохождения тока по замкнутому контуру запасенная обмоткой возбуждения электромагнитная энергия преобразуется в тепловую и в обмотке возбуждения не наводится большая э. д. с. самоиндукции, которая могла бы привести к пробое изоляции обмотки возбуждения.

Из формулы (14) легко получить выражение, определяющее скорость вращения якоря двигателя:

$$n = \frac{E_{\text{я}}}{C_E \Phi} = \frac{U - I_n R_{\text{я}}}{C_E \Phi} \text{ об/мин.} \quad (31)$$

Следовательно, скорость вращения якоря двигателя прямо пропорциональна напряжению U и обратно пропорциональна магнитному потоку Φ .

Значение тока якоря при работе двигателя определяется уравнением (29). Если напряжение сети не изменяется, то, поскольку $R_{\text{я}}$ величина постоянная, ток якоря будет зависеть от значения противо-э. д. с. $E_{\text{дв}}$ двигателя. С увеличением нагрузки скорость вращения двигателя снижается, и поэтому противо-э. д. с. уменьшается, а это вызывает возрастание тока якоря и соответственно увеличение вращающего момента двигателя; при уменьшении нагрузки эти зависимости приобретают противоположный характер.

Если, например, уменьшить магнитный поток Φ , то в первый момент времени после увеличения сопротивления регулировочного реостата значительно повысится ток якоря, так как увеличится разность $U - E_{\text{дв}}$. Это в соответствии с формулой (26) приведет к увеличению вращающего момента, вследствие чего скорость вращения двигателя возрастет при неизменном нагрузочном моменте.

Увеличение скорости вращения двигателя сопровождается увеличением э. д. с. якоря, в результате чего первоначальная величина

тока якоря немного уменьшится и двигатель будет продолжать вращаться с большей установившейся скоростью.

Чтобы изменить направление вращения якоря двигателя, необходимо изменить направление тока или в обмотке якоря, или в обмотке возбуждения (рис. 56). Так, если направление тока в обмотке возбуждения стало противоположным, то

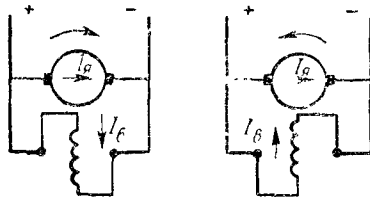


Рис. 56. Изменение направления вращения двигателей.

изменится полярность полюсов, а направление тока в якоре останется прежним. Применив правило левой руки, легко убедиться в том, что якорь двигателя будет вращаться в обратную сторону. То же произойдет при изменении направления тока в якоре. При изменении полярности проводов на зажимах двигателя направление вращения якоря останется прежним.

Скорость вращения в двигателях параллельного возбуждения регулируют изменением магнитного потока, для чего в цепь обмотки возбуждения включают регулировочный реостат $R_{ш}$ (см. рис. 55).

Свойства двигателя отражают его рабочие характеристики, под которыми понимают зависимости скорости вращения n , тока I , вращающего момента M и коэффициента полезного действия η от мощности P_2 на валу двигателя при постоянных значениях напряжения и тока возбуждения (рис. 57), т. е. $n, I, M, \eta = f(P_2)$ при $U = \text{const}$ и $I_{в} = \text{const}$.

Скорость вращения n двигателя с увеличением нагрузки уменьшается незначительно. Уменьшение скорости вращения происходит вследствие увеличения падения напряжения $I_{я}R_{я}$ в обмотке якоря. Ток двигателя с увеличением нагрузки возрастает. Вращающий момент M также повышается почти прямо пропорционально нагрузке. Поскольку скорость вращения n двигателя при увеличении нагрузки несколько снижается, то кривая момента M слегка изгибается вверх. Так как $P = M\omega$, то с уменьшением ω момент M увеличивается. Коэффициент полезного действия η с увеличением нагрузки возрастает и достигает своего максимального значения примерно при половинном значении номинальной мощности, затем остается почти постоянным, но при перегрузке двигателя уменьшается.

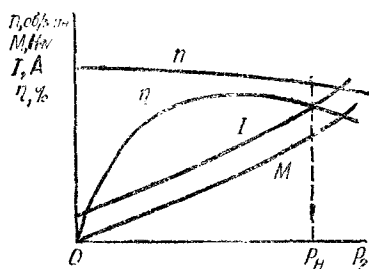


Рис. 57. Рабочие характеристики двигателя параллельного возбуждения.

КАРТОЧКА № 23 (136)

Двигатель параллельного возбуждения

Что произойдет, если рукоятку пускового реостата оставить в среднем положении после запуска двигателя?	Магнитный поток возбуждения не достигнет номинального значения	442
	Секции пускового реостата перегреются и сгорят	407
	Сгорят предохранители, защищающие двигатель от перегрузок	399

Как изменилась скорость электродвигателя если при постоянном напряжении питания магнитный поток возбуждения уменьшился?	Увеличилась	362
	Не изменилась	322
	Уменьшилась	301
Как изменится скорость вращения двигателя при уменьшении: а) r_1 ; б) r_2 ?	а) увеличится; б) уменьшится	258
	а) уменьшится; б) увеличится	229
В каком случае направление вращения двигателя не изменится?	При изменении направления тока якоря	191
	При изменении направления тока возбуждения	167
	При одновременном изменении направления тока якоря и тока возбуждения	135
Будет ли якорь двигателя постоянного тока вращаться при включении двигателя в сеть переменного тока промышленной частоты?	Будет	103
	Нет	83

§ 5. Двигатель последовательного возбуждения

У двигателя последовательного возбуждения (серийного) обмотки якоря и возбуждения соединены последовательно (рис. 58, а).

При малом насыщении стали магнитопровода магнитный поток Φ прямо пропорционален току якоря ($\Phi \equiv I_{\text{я}}$), а так как вращающий момент двигателя $M = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}}$, то можно считать, что вращающий момент двигателя последовательного возбуждения прямо пропорционален квадрату тока якоря ($M \equiv I_{\text{я}}^2$).

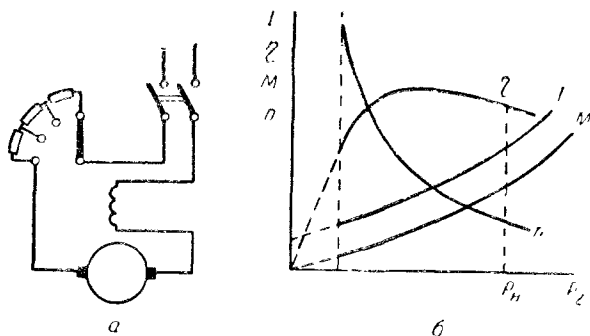


Рис. 58. Двигатель последовательного возбуждения:
а — схема; б — рабочие характеристики.

Поэтому такой двигатель отличают хорошие тяговые свойства и способность выдерживать большие перегрузки, что особенно ценно при пуске двигателя в ход, когда он должен сообщить ускорение рабочим механизмам и преодолеть момент сопротивления нагрузки. Эти особенности определяют сферу использования двигателей последовательного возбуждения: их применяют там, где необходимы хорошие тяговые свойства (например, на электротранспорте, в подъемниках и т. п.).

Рабочие характеристики двигателя представлены на рисунке 58, б. Так как зависимость вращающего момента от тока квадратичная, то кривая момента в начальной части имеет вид параболы. При достижении магнитного насыщения стали двигателя вращающий момент изменяется почти пропорционально току, как и у двигателя параллельного возбуждения.

Скорость вращения двигателя последовательного возбуждения

$$n = \frac{U - I_n(R_a + R_{с.в})}{C_E \Phi} \text{ об/мин.} \quad (32)$$

В этой формуле в отличие от формулы (34) учтено также падение напряжения на обмотке последовательного возбуждения.

Так как при увеличении нагрузки магнитный поток Φ сильно возрастает, то скорость вращения двигателя с увеличением нагрузки резко снижается.

Уменьшение нагрузки сопровождается значительным возрастанием скорости вращения двигателя вследствие уменьшения магнитного потока. Поэтому при нагрузке меньше 25% номинальной двигатель пускать в ход нельзя, так как его скорость может настолько повыситься, что двигатель пойдет «вразнос» и может быть поврежден. По этой же причине не следует применять ременную передачу для таких двигателей, поскольку при обрыве ремня двигатель также пойдет «вразнос». Следует заметить, что подобный аварийный режим может возникнуть и в двигателе параллельного возбуждения, работающем в холостую, если случится обрыв в цепи обмотки возбуждения.

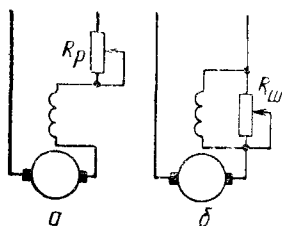


Рис. 59. Регулирование скорости двигателей последовательного возбуждения: а — изменением подводимого напряжения; б — шунтированием обмотки возбуждения.

Скорость двигателя последовательного возбуждения регулируют несколькими способами. Как видно из формулы (32), скорость двигателя можно регулировать, изменяя подводимое напряжение. В этом случае вместо пускового реостата, рассчитанного на кратковременное прохождение тока, ставят регулировочный (рис. 59, а). Такой способ регулирования неэкономичен из-за больших потерь электроэнергии в реостате.

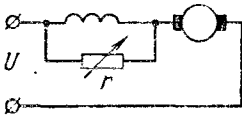
Более экономично регулирование скорости вращения двигателя изменением магнитного потока Φ . С этой целью регулировочным реостатом шунтируют обмотку возбуждения (рис. 59, б), вследствие чего магнитный поток Φ уменьшается, а скорость вращения увеличивается.

КАРТОЧКА № 24 (211)

Двигатель последовательного возбуждения

Как изменился вращающий момент двигателя последовательного возбуждения (насыщением стали пренебречь), если его ток увеличился в 3 раза?	Увеличился в 3 раза	504
	Увеличился в 9 раз	475
Во сколько раз пусковой момент двигателя последовательного возбуждения больше номинального, если пусковой ток двигателя превышает номинальный в 3 раза? (Насыщением стали пренебречь)	В 3 раза	443
	В 9 раз	408
Что произойдет, если двигатель последовательного возбуждения подключить к сети при отключенной механической нагрузке на валу?	Двигатель не запустится	400
	Обмотка якоря перегреется	363
	Двигатель пойдет «вразнос»	323
Что произойдет, если момент нагрузки на валу двигателя последовательного возбуждения уменьшить до нуля?	Двигатель остановится	302
	Якорь двигателя будет вращаться по инерции с постоянной скоростью	259
	Двигатель пойдет «вразнос»	237

Как изменится скорость вращения двигателя при увеличении сопротивления r ?



Увеличится	192
Уменьшится	168

§ 6. Двигатель смешанного возбуждения

В двигателе смешанного возбуждения (компаундного) применены две обмотки возбуждения, одна из которых соединена последовательно с обмоткой якоря, а другая параллельно ей (рис. 60, а). Поэтому такому двигателю присущи свойства двигателей с параллельным и последовательным возбуждением, т. е. для него характерны и постоянство скорости вращения, и большой вращающий момент.

Благодаря наличию обмотки параллельного возбуждения двигатель со смешанным возбуждением не может пойти «вразнос».

Скорость вращения двигателя смешанного возбуждения

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_c, a)}{C_E(\Phi_{ш} \pm \Phi_c)} \text{ об/мин}, \quad (33)$$

где $\Phi_{ш}$ — магнитный поток обмотки параллельного возбуждения;
 Φ_c — магнитный поток обмотки последовательного возбуждения.

Знак «плюс» (+) в формуле соответствует согласному включению обмоток возбуждения, как это обычно и бывает. В этом случае с увеличением нагрузки общий магнитный поток возрастает, а значит уменьшается скорость вращения.

Знак «минус» (—) соответствует встречному включению обмоток возбуждения. В двигателях нормального исполнения встречное включение обмоток приводит к значительному увеличению тока якоря вследствие снижения общего магнитного потока.

Встречное включение обмоток применяют в том случае, когда хотят получить не зависящую от нагрузки скорость вращения. Для этого на сердечники полюсов намагнивают небольшое число витков обмотки последовательного возбуждения с таким расчетом, чтобы с увеличением нагрузки и уменьшением общего магнитного потока скорость двигателя оставалась неизменной.

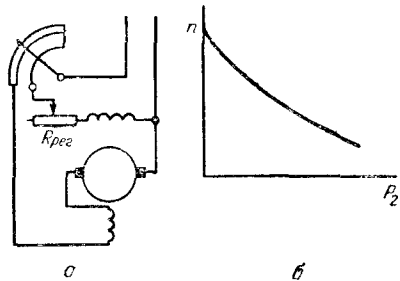
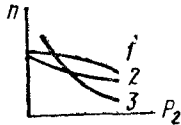
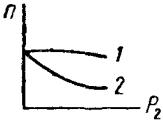
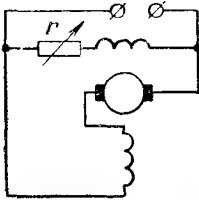


Рис. 60. Двигатель смешанного возбуждения:

а — схема; б — скоростная характеристика.

Двигатель смешанного возбуждения

Как надо включить обмотки возбуждения компаундного двигателя, чтобы а) обеспечить постоянство скорости вращения; б) устранить режим «разброса» в процессе сброса нагрузки?	а) согласно; б) согласно	136
	а) согласно; б) встречно	104
	а) встречно; б) согласно	84
Приведены скоростные характеристики двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Укажите характеристику компаундного двигателя	Кривая 1	123
	Кривая 2	147
	Кривая 3	179
	На графике ее нет	213
	а) кривая 1; б) кривая 2	239
	а) кривая 2; б) кривая 1	279
	Уменьшилась	287
	Увеличилась	343
	Не изменилась	365
	Увеличится	388
	Уменьшится	425
	Не изменится	459

Из рабочих характеристик такого двигателя представляется интересным рассмотреть только зависимость скорости вращения от нагрузки (рис. 60, б), получившую название *с к о р о с т н о й х а - р а к т е р и с т и к и*. Она занимает промежуточное положение между соответствующими характеристиками двигателей параллельного и последовательного возбуждения.

Скорость двигателей смешанного возбуждения регулируют при помощи реостата $R_{\text{рег}}$, который введен в цепь обмотки параллельного возбуждения.

Двигатели смешанного возбуждения применяют в качестве тяговых и крановых двигателей.

Пример 4. Определить скорость вращения двигателя смешанного возбуждения при согласном включении обмоток, если $U = 220$ В, $I_{\text{я}} = 50$ А, $R_{\text{я}} = 0,1$ Ом, $R_{\text{с.о}} = 0,3$ Ом, $\Phi_{\text{ш}} = 0,003$ Вб, $\Phi_{\text{с}} = 0,002$ Вб, $N = 480$, $a = 2$, $p = 2$.

Решение. Скорость вращения двигателя определим по формуле (33):

$$n = \frac{U - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{с.о}})}{\frac{Np}{60a}(\Phi_{\text{ш}} + \Phi_{\text{с}})} = \frac{220 - 50(0,1 + 0,3)}{\frac{480 \cdot 2}{60 \cdot 2}(0,003 + 0,002)} = 5000 \text{ об/мин.}$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование двигателей постоянного тока

Цель работы. Изучить процессы пуска двигателей в ход и регулирования их скорости, исследовать зависимость скорости вращения от тока возбуждения, снять рабочие характеристики.

П л а н р а б о т ы. 1. Записать данные заводского щитка, подобрать аппаратуру и приборы для проведения работы, нарисовать и собрать схему, в соответствии с которой пустить двигатель в ход, ознакомиться со способами регулирования скорости и изменения направления вращения двигателя.

2. Подобрать приборы и оборудование, собрать схему для снятия рабочих характеристик двигателя, представляющих собой зависимости I , M , n , $\eta = f(P_2)$ при $U = U_{\text{н}} = \text{const}$ и $I_{\text{в.н}} = \text{const}$.

3. Снять и построить рабочие характеристики двигателя, сделав необходимые подсчеты.

Объяснения к работе. В данной лабораторной работе используется двигатель параллельного возбуждения, который можно исследовать в режиме холостого хода. Подведенное к двигателю напряжение поддерживают постоянным. В цепь обмотки возбуждения двигателя включают амперметр A ,

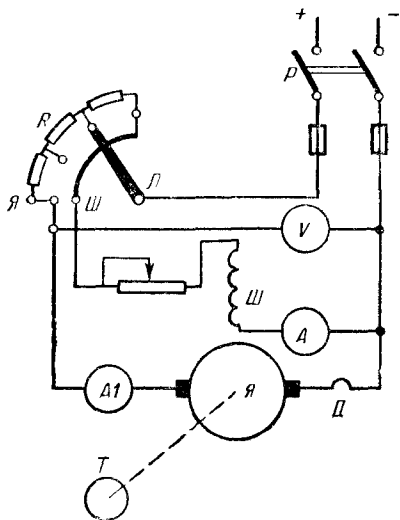


Рис. 61. Схема для снятия рабочих характеристик двигателя параллельного возбуждения.

рассчитанный на наибольший ток возбуждения. Скорость вращения якоря двигателя измеряют тахометром. Исследуемая схема представлена на рисунке 61.

Перед пуском двигателя в ход вводит полностью сопротивление пускового реостата R и выводит сопротивление регулировочного реостата. Включают рубильник P . Затем по мере разгона якоря двигателя медленно выводят сопротивление пускового реостата. Рукоятку пускового реостата оставляют на все время работы двигателя на клеммах II и III , соответствующих полностью выведенному сопротивлению реостата. При помощи регулировочного реостата изменяют скорость вращения, наблюдая за током возбуждения и показаниями тахометра. Записывают 4—5 показаний при различных значениях тока возбуждения двигателя, сводя данные в приведенную ниже таблицу.

Номер измерения	I_B, A	$n, об/мин$

По полученным данным строят кривую зависимости скорости вращения от тока возбуждения.

Чтобы изменить направление вращения якоря двигателя, изменяют направление тока в якоре или в обмотке возбуждения, переключив соответствующие переключки на доске контактов двигателя.

Для снятия рабочих характеристик номинальный ток возбуждения устанавливают при номинальных значениях напряжения U_n , момента M_n на валу и скорости n_n . Полученное значение тока возбуждения нужно поддерживать неизменным при снятии рабочих характеристик.

Значение номинального момента определяют, исходя из паспортных данных двигателя по формуле (27).

Пустив двигатель в ход и поддерживая номинальное напряжение на его контактах и номинальный ток возбуждения, постепенно нагружают двигатель тормозным устройством T и записывают показания приборов при значениях момента 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 и 1,2 M_n , сводя все полученные данные в таблицу, представленную ниже.

Номер измерения и расчета	Результаты опыта					Результаты расчета			
	$U, В$	I_B, A	I_A, A	$n, об/мин$	$P, Вт$	$M, Нм$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\eta, \%$

Расчет необходимых величин делают по следующим формулам.
Момент

$$M = P / \Omega \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (34)$$

• F — сила на плече тормоза, Н;

l — длина плеча тормоза, м.

Подведенная мощность

$$P_1 = U_{\text{н}} (I_{\text{л}} + I_{\text{в.н}}) \text{ Вт.} \quad (35)$$

Полезная мощность на валу двигателя

$$P_2 = \frac{Mn}{9,55} \text{ Вт.}$$

К. п. д.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (36)$$

По полученным данным строят рабочие характеристики.

При исследовании двигателя последовательного возбуждения нужно иметь в виду, что его нельзя пускать в ход вхолостую, так как он может пойти «вразнос». Для этого двигателя первое измерение соответствует моменту $0,25 M_{\text{н}}$.

Г л а в а VII

ПОТЕРИ И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Процесс преобразования одного вида энергии в другой (в электрических машинах — это преобразование электрической энергии в механическую или механической в электрическую) всегда сопровождается потерями энергии, которые вызваны различными причинами.

Потери энергии в электрических машинах принято разделять на *постоянные*, не зависящие от нагрузки, и *переменные*, зависящие от нагрузки.

§ 1. Постоянные потери

К постоянным потерям относят магнитные, или потери в стали машины, и механические.

Магнитные потери складываются из потерь на гистерезис и вихревые токи. Первые из них вызываются в основном перемагничиванием стали якоря при вращении его в магнитном поле машины, и вторые — возникновением в магнитной системе вихревых токов.

Магнитные потери зависят от частоты f перемагничивания стали якоря, т. е. от скорости его вращения, и от величины магнитной индукции B .

Частоту перемагничивания стали якоря можно определить по формуле

$$f = \frac{pn}{60} \text{ Гц,} \quad (37)$$

где p — число пар полюсов;

n — скорость вращения якоря, об/мин.

Потери на гистерезис

$$P_{\text{г}} = \sigma_{\text{г}} \frac{f}{100} B^2 \text{ Вт/кг стали,} \quad (38)$$

где σ_r — коэффициент, зависящий от марки стали ($\sigma_r \cong 2,4 \div 4,7$);
 B — максимальное значение магнитной индукции в стали
якоря, Т.

Потери на вихревые токи

$$P_{вх} = \sigma_{вх} \left(\frac{f}{100} \right)^2 B^2 \text{ Вт/кг стали,} \quad (39)$$

где $\sigma_{вх}$ — коэффициент, зависящий от толщины листов стали и ее качества ($\sigma_{вх} = 0,6 \div 5,6$ при толщине листов стали до 0,5 мм; для листов стали толщиной 1 мм $\sigma_{вх}$ возрастает до 22,4).

Суммарные потери в стали

$$P_{ст} = P_r + P_{вх}. \quad (40)$$

Механические потери складываются из потерь на трение в подшипниках, щеток о коллектор, якоря о воздух и вентиляционных потерь.

Механические потери зависят лишь от скорости вращения якоря.

В машинах мощностью до 100 кВт механические потери составляют 2—4% номинальной мощности.

Сумма механических и магнитных потерь составляет п о т е р и
х о л о с т о г о х о д а

$$P_0 = P_{ст} + P_{мех}. \quad (44)$$

Если машина работает в режиме холостого хода как двигатель, то потребляемая ею из сети мощность

$$P_x = P_0 + I_B U,$$

откуда потери холостого хода

$$P_0 = P_x - I_B U,$$

где I_B — ток возбуждения, А;

U — напряжение, подводимое к обмотке возбуждения, В.

Таким образом, суммарные потери холостого хода могут быть определены опытным путем.

КАРТОЧКА № 26 (236)

Постоянные потери

На какие виды потерь делятся постоянные потери?	магнитные потери, механические по- тери	49)
	потери на гистерезис, потери на вихревые токи	520

Определите потери на гистерезис в расчете на 1 кг массы якоря, если частота перемагничивания якоря 100 Гц, индукция в стали якоря 1 Т, $\sigma_r = 4$	0,4 Вт/кг	550
	1 Вт/кг	580
	4 Вт/кг	611
Как изменились потери на вихревые токи в стали якоря, если скорость двигателя увеличилась в 2 раза?	Увеличились в 2 раза	642
	Увеличились в 4 раза	659
Что можно сказать о магнитных потерях, если при прочих равных условиях масса стали якоря первого двигателя на 10% меньше, чем у второго?	Магнитные потери у второго двигателя больше, чем у первого	692
	Магнитные потери у второго двигателя на 10% больше, чем у первого	710
	Магнитные потери у второго двигателя меньше, чем у первого	678
В режиме холостого хода двигатель постоянного тока потребляет 100 Вт. Мощность цепи возбуждения 30 Вт. Чему равны постоянные потери двигателя?	130 Вт	629
	Около 100 Вт	598
	Около 70 Вт	566

§ 2. Переменные потери

К переменным потерям, которые называют также потерями в меди или электрическими потерями, относят потери на нагрев обмоток якоря и возбуждения и потери в щеточных контактах.

Для машины параллельного возбуждения эти потери в соответствии с законом Ленца — Джоуля

$$P_{эл. ш} = I_{я}^2 R_{я} + I_{в}^2 r_{в} \text{ Вт},$$

или после преобразований

$$P_{эл. ш} = I_{я}^2 R_{я} + I_{в} U \text{ Вт}, \quad (42)$$

где $I_{я}$ — ток якоря, А;

$R_{я}$ — сопротивление всей цепи якоря, Ом;

$I_{в}$ — ток возбуждения, А;

U — напряжение, подведенное к обмотке возбуждения, В.

Аналогично для машины последовательного возбуждения

$$P_{эл. с} = I_{я}^2 (R_{я} + R_{с. о}) \text{ Вт}, \quad (43)$$

где $R_{с. о}$ — сопротивление серийной обмотки.

Для машины смешанного возбуждения:

$$P_{эл. г.} = I_a (R_{я.} + R_{с. о.}) + I_f R \text{ Вт.} \quad (44)$$

Необходимо иметь в виду, что сопротивление обмоток определено в холодном состоянии, то его нужно привести к рабочей температуре обмоток машины, т. е. к температуре 75°C , по формуле

$$R_{75} = R_{\theta_1} [1 + \alpha (75^\circ - \theta_1)] \text{ Ом,} \quad (45)$$

где R_{75} — сопротивление обмоток при температуре 75°C , Ом;

θ_1 — температура, при которой было измерено сопротивление обмоток, $^\circ \text{C}$;

R_{θ_1} — сопротивление обмоток при температуре θ_1 , Ом;

α — температурный коэффициент (для меди $\alpha = 0,004$).

Электрические потери в щеточных контактах

$$P_{щ} = \Delta U_{щ} I_a \text{ Вт,} \quad (46)$$

где $\Delta U_{щ}$ — переходное падение напряжения на щетках (его считают постоянным и принимают для угольных и графитных щеток равным 2 В, для металлографитных щеток 0,6 В).

Как видно из формул (42), (43), (44) и (46), потери в меди и в щеточном контакте зависят от тока якоря, т. е. от нагрузки, поэтому их и называют переменными потерями.

§ 3. Добавочные потери

Добавочные потери в машинах постоянного тока складываются из потерь в стали полюсных наконечников, обусловленных пульсацией основного магнитного потока вследствие зубчатой формы якоря, потерь в стали якоря из-за неравномерного распределения индукции при нагрузке, потерь от вихревых токов в меди обмоток (если обмотка выполнена из проводов большого сечения), потерь, связанных с коммутацией тока, и неучтенных потерь.

Согласно ГОСТ 11828—66, в машинах без компенсационной обмотки величину добавочных потерь принимают равной 1% полезной мощности для генераторов или 4% подводимой мощности для двигателей. В машинах с компенсационной обмоткой величину этих потерь принимают равной 0,5% P_H .

КАРТОЧКА № 27 (219)

Переменные потери. Добавочные потери

Определите переменные потери в двигателе параллельного возбуждения, если $I_a = 10 \text{ А}$, $R_a = 0,1 \text{ Ом}$ при 75°C , $I_f = 0,2 \text{ А}$, $U = 100 \text{ В}$	20 Вт	505
	30 Вт	476

Вычислите переменные потери в двигателе последовательного возбуждения, если $I_{\text{я}} = 10 \text{ А}$, $R_{\text{я}} = 0,4 \text{ Ом}$, $R_{\text{с}} = 0,1 \text{ Ом}$ при 75°С	10 Вт	444
	20 Вт	409
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	401
Определите переменные потери в двигателе смешанного возбуждения, если $I_{\text{я}} = 10 \text{ А}$, $R_{\text{я}} = 0,4 \text{ Ом}$, $R_{\text{с}} = 0,1 \text{ Ом}$ при 75°С ; $I_{\text{в}} = 0,1 \text{ А}$, $U = 100 \text{ В}$	10 Вт	364
	20 Вт	324
	30 Вт	303
Подсчитайте потери в щеточном контакте при токе якоря 10 А (щетки графитовые)	10 Вт	260
	20 Вт	238
Определите добавочные потери двигателя постоянного тока мощностью 10 кВт	0,1 кВт	193
	0,5 кВт	169

§ 4. Коэффициент полезного действия машин постоянного тока

Распределение энергии в машине постоянного тока достаточно наглядно отображают на энергетической диаграмме. Рассмотрим энергетические диаграммы генератора (рис. 62, а) и двигателя (рис. 62, б).

К генератору (рис. 62, а) от первичного двигателя через ременную или какую-либо другую передачу подведена механическая мощность $P_1 = M\omega$. Часть этой мощности расходуется на покрытие потерь $P_{\text{ст}}$ в стали, $P_{\text{м}}$ в меди, $P_{\text{ш}}$ в щеточных контактах, механических $P_{\text{мех}}$ и добавочных $P_{\text{д}}$ потерь. Оставшуюся часть мощности $P_2 = UI$ называют полезной, ее значение указывают на заводском щитке.

Энергетическая диаграмма двигателя (рис. 62, б) имеет несколько иной вид. К зажимам двигателя подводят электрическую мощность $P_1 = UI$. Часть этой мощности расходуется на покрытие потерь $P_{\text{ст}}$ в стали, $P_{\text{м}}$ в меди, $P_{\text{ш}}$ в щеточных контактах, механических $P_{\text{мех}}$ и добавочных $P_{\text{д}}$, а оставшуюся мощность $P_2 = M\omega$, которую двигатель развивает на валу, называют полезной и указывают на заводском щитке.

Коэффициентом полезного действия (к. п. д.) машины постоянного тока называют отношение полезной мощности P_2 , отдаваемой машиной, к подведенной мощности P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

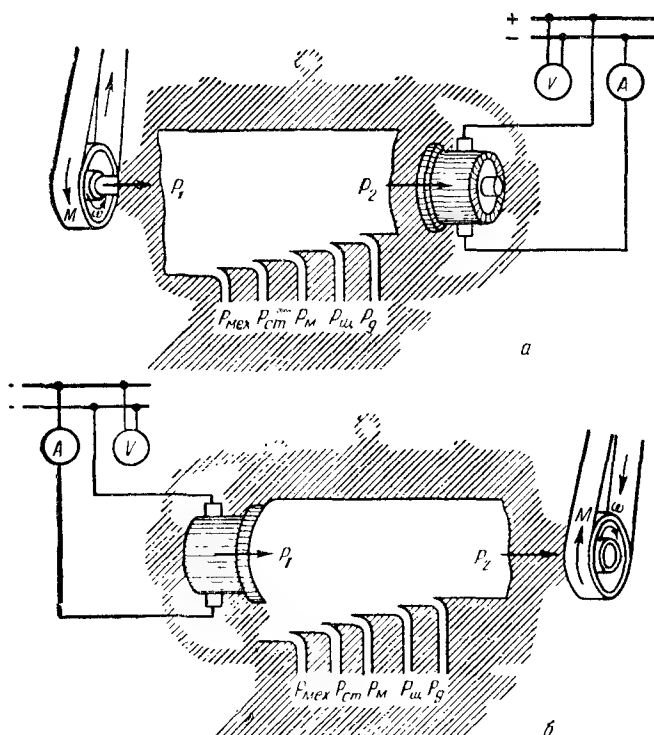


Рис. 62. Энергетические диаграммы:
а — генератора; б — двигателя.

Если измерить подводенную P_1 и отдаваемую P_2 мощности и определить к. п. д. по приведенной выше формуле, то такой метод определения к. п. д. называют *прямым*. Прямым методом обычно не пользуются, так как он неэкономичен — машину нужно нагружать на полную мощность, что вызывает большой расход энергии, — и неточен, так как при измерении больших мощностей трудно добиться высокой точности измерений.

На практике к. п. д. находят *косвенным методом*. Для этого вычисляют сумму потерь ΣP , имеющихся в машине при определенном режиме работы, и определяют к. п. д. по следующим формулам: для двигателя

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_2 - \Sigma P}{P_1} = \frac{UI - (P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{щ}} + P_{\text{д}})}{UI}; \quad (47)$$

для генератора

$$\eta_{\text{ген}} = \frac{P_2}{P_1 + \Sigma P} = \frac{UI}{UI + (P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{щ}} + P_{\text{д}})}, \quad (48)$$

где U — напряжение машины, В;

I — ток машины, А.

При неполной нагрузке берется величина тока, соответствующая данному режиму машины.

Потери находят опытным или расчетным путем по ранее приведенным формулам.

Величина к. п. д. машин постоянного тока мощностью до 100 кВт составляет 0,75—0,92 при номинальной нагрузке. Машинам большей мощности свойствен более высокий к. п. д.

Иногда определяют электрический к. п. д., т. е. отношение полезной мощности P_2 к электромагнитной мощности $P_{элм}$. Тогда

$$\eta_{эл} = \frac{P_2}{P_{элм}} = \frac{UI_{нг}}{EI_{я}}.$$

В этом случае учитываются только электрические потери.

Пример. Определить к. п. д. двигателя смешанного возбуждения без компенсационной обмотки, если напряжение сети $U = 220$ В, потребляемый номинальный ток $I = 62$ А, ток якоря при холостом ходе $I_{я,0} = 4$ А, сопротивление обмотки якоря $R_{я} = 0,06$ Ом, сопротивление обмотки последовательного возбуждения $R_{с.о} = 0,08$ Ом, ток возбуждения $I_B = 2$ А. Сопротивления обмоток соответствуют температуре 15°С . Щетки в машине угольные.

Решение. Пересчитываем сопротивления обмоток якоря и последовательной обмотки возбуждения относительно температуры 75°С :

$$\begin{aligned}(R_{я} + R_{с.о})_{75} &= (R_{я} + R_{с.о}) [1 + \alpha (75 - \theta_1)] = \\ &= (0,06 + 0,08) \cdot [1 + 0,004 (75 - 15)] = 0,1736 \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Ток якоря

$$I_{я} = I - I_B = 62 - 2 = 60 \text{ А.}$$

Электрические потери

$$\begin{aligned}P_{эл} &= I_{я}^2 (R_{я} + R_{с.о})_{75} + I_B U = \\ &= 60^2 \cdot 0,1736 + 2 \cdot 220 = 625 + 440 = 1065 \text{ Вт.}\end{aligned}$$

Потери холостого хода

$$P_0 = P_{ст} + P_{мех} = UI_{я0} = 220 \cdot 4 = 880 \text{ Вт.}$$

Потери в щеточных контактах

$$P_{щ} = \Delta U_{щ} I_{я} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ Вт.}$$

Добавочные потери

$$P_d = 0,01 UI = 0,01 \cdot 220 \cdot 62 = 136,4 \text{ Вт.}$$

Суммарные потери

$$\Sigma P = P_0 + P_{эл} + P_{щ} + P_d = 880 + 1065 + 120 + 136,4 = 2201,4 \text{ Вт.}$$

К. п. д. при номинальной нагрузке

$$\eta = \frac{UI - \Sigma P}{UI} = \frac{220 \cdot 62 - 2201,4}{220 \cdot 62} = 0,838.$$

Коэффициент полезного действия машины постоянного тока

Укажите строку, где в указанном ниже порядке названы потери: механические, магнитные, переменные, в щеточном контакте, добавочные	$P_{\text{мех}}, P_{\text{м}}, P_{\text{ст}}, P_{\text{щ}}, P_{\text{д}}$	137
	$P_{\text{д}}, P_{\text{ст}}, P_{\text{м}}, P_{\text{щ}}, P_{\text{мех}}$	105
	$P_{\text{мех}}, P_{\text{ст}}, P_{\text{м}}, P_{\text{щ}}, P_{\text{д}}$	85
Какую мощность а) потребляет, б) отдает генератор постоянного тока?	а) электрическую; б) электрическую	124
	а) механическую; б) электрическую	148
Какую мощность а) потребляет, б) отдает двигатель постоянного тока?	а) электрическую; б) механическую	180
	а) механическую; б) механическую	214
Определите к. п. д. генератора постоянного тока, на щитке которого указана мощность 0,3 кВт, а суммарные потери при номинальной нагрузке составляют 0,1 кВт	0,67	240
	0,8	280
	0,75	294
Определите к. п. д. двигателя постоянного тока, потребляющего из сети мощность 1 кВт; суммарные потери в этом режиме работы 150 Вт	0,75	344
	0,8	366
	0,85	389

Глава VIII

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 1. Сварочные генераторы постоянного тока

Специфические условия работы сварочных генераторов определяют вид их внешней характеристики. Чтобы создать условия для устойчивого горения электрической дуги и ограничить величину тока короткого замыкания, необходима круто спадающая внешняя характеристика (рис. 63). Только в этом случае сварочная машина обеспечивает более или менее постоянное значение сварочного тока при переменном сопротивлении дуги, что объясняется изменениями расстояния между электродом и деталью, происходящими из-за колебаний руки сварщика.

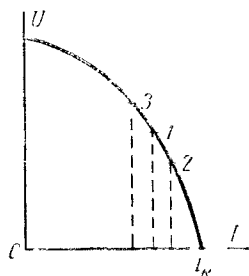


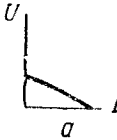
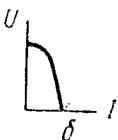
Рис. 63. Внешняя характеристика сварочного генератора.

С увеличением длины дуги растет напряжение между электродом и деталью (точка 3), а при уменьшении дуги это напряжение сни-

жается (точка 2), сила же сварочного тока изменяется незначительно. Как видно из внешней характеристики, значение тока I_K короткого замыкания при этом будет также невелико.

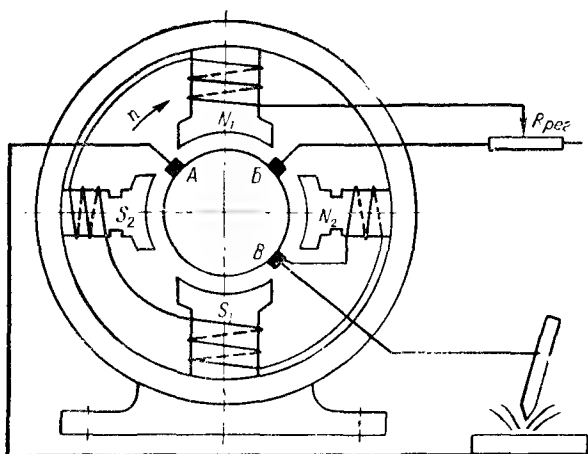
КАРТОЧКА № 29 (351)

Сварочные генераторы постоянного тока

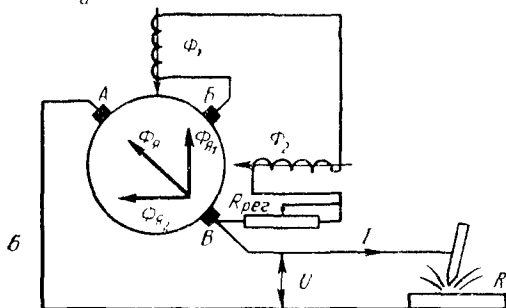
По приведенным внешним характеристикам генераторов (а и б) определите, в каком случае изменение напряжения мало сказывается на величине тока?   а б	В случае а	426
	В случае б	460
Какому требованию обязательно должен удовлетворять сварочный генератор?	Большая мощность на выходе	491
	Относительное постоянство напряжения при больших колебаниях сварочного тока	521
	Относительное постоянство тока при больших колебаниях напряжения	551
Как изменяется сопротивление электрической дуги в момент прикосновения электрода к свариваемым деталям?	Уменьшается до нуля	581
	Немного уменьшается	612
	Немного увеличивается	643
Как изменяется напряжение на зажимах сварочного генератора в момент прикосновения электрода к свариваемым деталям?	Уменьшается до нуля	660
	Немного уменьшается	693
	Не изменяется	711
Как изменяется ток сварочного генератора при прикосновении электрода к свариваемым деталям?	Немного уменьшается	679
	Не изменяется	630
	Немного увеличивается	599

§ 2. Сварочный генератор с расщепленными полюсами

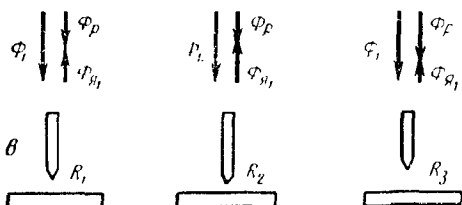
Рассмотрим принцип действия сварочного генератора с расщепленными полюсами, упрощенная схема которого показана на рисунке 64, а.



а



б



в

$$I = \frac{U_1}{R_1} \approx \frac{U_2}{R_2} \approx \frac{U_3}{R_3}$$

1 2 3

Рис. 64. Сварочный генератор с расщепленными полюсами:

а — принципиальная схема устройства; б — упрощенная электрическая схема; в — соотношения потоков и сварочные токи при различных расстояниях между электродом и деталью.

Четыре полюса машины, из которых одноименные расположены рядом, образуют как бы два расщепленных полюса: $N_1 - N_2$ и $S_1 - S_2$.

Сварочная цепь подключена к главным щеткам A и B . Катушки обмотки возбуждения, соединенные последовательно, включены на щетки B и B .

Главные полюса машины N_1 и S_1 , создающие магнитный поток Φ_1 , находятся в ненасыщенном состоянии. Сталь добавочных полюсов N_2 и S_2 , имеющих меньшее сечение и специальные вырезы, насыщена, поэтому магнитный поток Φ_2 , создаваемый ими, а следовательно, и э. д. с. между щетками B и B можно считать относительно постоянными. Вследствие этого ток в обмотках возбуждения и создаваемый им магнитный поток Φ_1 в той же степени постоянны по величине.

Во время сварки по обмотке якоря проходит сварочный ток, который создает магнитный поток якоря $\Phi_{я}$ (рис. 64, б). Разложим вектор магнитного потока якоря на две составляющие: горизонтальную $\Phi_{я_1}$ и вертикальную $\Phi_{я_2}$. Горизонтальная составляющая $\Phi_{я_1}$ не влияет на работу машины, так как сталь полюсов N_2 и S_2 насыщена и величина магнитного потока Φ_2 не изменяется. Но, как видно из рисунка 64, б, вертикальная составляющая $\Phi_{я_2}$ направлена против основного магнитного потока Φ_1 полюсов N_1 и S_1 , т. е. оказывает размагничивающее действие и уменьшает поток Φ_1 .

В результате вычитания этих магнитных потоков образуется результирующий магнитный поток Φ_p , от значения которого зависит напряжение U на зажимах машины. Таким образом, взаимодействие магнитного потока Φ_1 и вертикальной продольно-размагничивающей составляющей $\Phi_{я_2}$ потока якоря способствует получению круто падающей внешней характеристики генератора.

Допустим, что сварщик установил электрод (рис. 64, в) на каком то расстоянии от детали, которому соответствует сопротивление R_1 сварочной дуги (положение 1). Значение сварочного тока $I = \frac{U_1}{R_1}$. Предположим далее, что, продолжая сварку, сварщик, сам того не замечая, приблизил электрод к свариваемой детали (положение 2). Сопротивление сварочной дуги уменьшится ($R_2 < R_1$), сила сварочного тока увеличится, но при этом повысится магнитный поток якоря и его составляющая $\Phi_{я_2}$.

Так как магнитный поток Φ_1 постоянен по величине, то при увеличении составляющей $\Phi_{я_2}$ уменьшится разность магнитных потоков Φ_p . Вследствие этого понизится напряжение на зажимах генератора ($U_2 < U_1$), но поскольку и сопротивление дуги стало меньше, то сила сварочного тока I останется почти неизменной.

При удалении электрода от свариваемой детали (положение 3) сопротивление дуги увеличится ($R_3 > R_1 > R_2$), что вызовет уменьшение сварочного тока и соответственно размагничивающей составляющей $\Phi_{я_2}$ магнитного потока якоря. Результирующий магнитный поток Φ_p начнет возрастать, что приведет к увеличению напряжения и поддержанию сварочного тока почти постоянного значения.

Сварочный генератор с расщепленными полюсами

Каково основное отличие добавочных полюсов от основных?	Добавочные полюса имеют меньшие размеры	567
	Сталь добавочных полюсов насыщена и их магнитный поток постоянен ($\Phi_2 = \text{const}$)	536
За счет какого потока создается э. д. с., питающая обмотку возбуждения генератора?	За счет магнитного потока основных полюсов Φ_1	506
	За счет магнитного потока добавочных полюсов Φ_2	477
	За счет суммы магнитных потоков Φ_1 и Φ_2	445
Почему магнитный поток реакции якоря практически не влияет на величину тока возбуждения сварочного генератора?	Потому что составляющая $\Phi_{я_0}$ перпендикулярна магнитному потоку Φ_1	410
	Потому что ток возбуждения создается за счет постоянного магнитного потока Φ_2	402
	Потому что составляющая $\Phi_{я_1}$ перпендикулярна магнитному потоку Φ_2	369
При приближении электрода к свариваемым деталям сопротивление дуги уменьшается, сварочный ток стремится увеличиться, при этом составляющая $\Phi_{я1}$ потока реакции якоря	увеличивается, результирующий поток Φ_r и напряжение генератора уменьшаются, а ток почти не изменяется	325
	уменьшается и препятствует увеличению тока	304
Каким образом осуществляется а) ступенчатое; б) плавное изменение сварочного тока?	а) поворотом щеток; б) изменением величины $R_{рег}$	261
	а) изменением величины $R_{рег}$; б) поворотом щеток	254
	Поворотом щеток	194

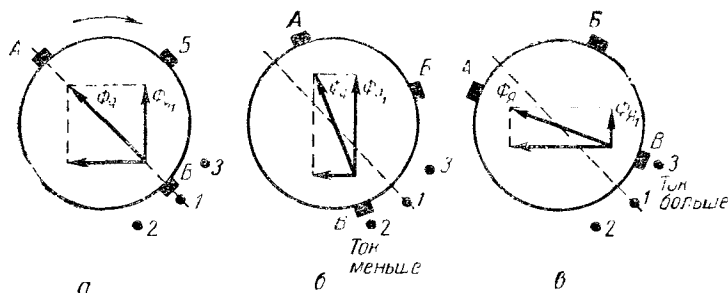


Рис. 65. Установка силы сварочного тока передвижением щеточной траверсы:

а — среднее положение; *б* — сдвиг щеток по направлению вращения якоря; *в* — сдвиг щеток против направления вращения якоря.

Положениям 1, 2, 3 электрода относительно детали соответствуют точки 1, 2, 3 на внешней характеристике (см. рис. 63).

Перед началом сварки регулируют силу сварочного тока, передвигая подвижную траверсу со щетками с некоторого нейтрального положения (рис. 65, *а*). При смещении щеток по направлению вращения якоря (рис. 65, *б*) вектор $\Phi_{\text{я}}$ магнитного потока якоря поворачивается по часовой стрелке, при этом вертикальная составляющая $\Phi_{\text{я}}$ увеличивается, вследствие чего размагничивающее действие реакции якоря возрастает, результирующий магнитный поток $\Phi_{\text{р}}$ уменьшается, напряжение на щетках *А* и *В* и сила сварочного тока также снижаются. При смещении щеток против направления вращения якоря, т. е. против часовой стрелки (рис. 65, *в*), сила сварочного тока увеличивается, так как размагничивающее действие реакции якоря становится меньшим, а напряжение на щетках *А* и *В* увеличивается.

Недостаток такого способа регулирования — усиление искрения под щетками при смещении щеток с нейтрали. Регулирование силы сварочного тока смещением щеток — ступенчатое. Плавное регулирование силы сварочного тока получают, изменяя сопротивление регулировочного реостата $R_{\text{рег}}$ (см. рис. 64, *а* и *б*), включенного в цепь обмоток возбуждения. При этом увеличивается или уменьшается напряжение на щетках *А* и *В* и соответственно сила сварочного тока.

Отечественная промышленность выпускает сварочные генераторы постоянного тока с расщепленными полюсами для агрегатов типов САК-ГМ, АСВ-300, СУГ и ПС-300М.

§ 3. Автотракторные генераторы и стартеры

На автомобилях и тракторах устанавливают генераторы постоянного и переменного тока напряжением 12 или 24 В.

Генераторы тракторов и автомобилей работают в специфических условиях, поскольку скорость вращения коленчатого вала двигателя, а значит, и генератора непостоянна. Так, у тракторов (при нали-

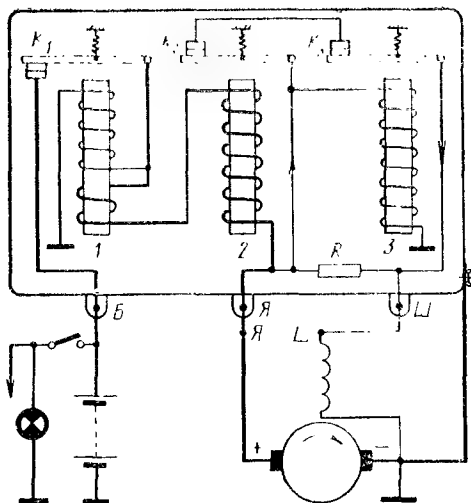


Рис. 66. Упрощенная принципиальная схема соединений автомобильного генератора с реле-регулятором.

напряжения генератора постоянным необходимо, чтобы с увеличением скорости вращения коленчатого вала магнитный поток Φ полюсов уменьшался (и наоборот).

На рисунке 66 изображена упрощенная схема соединений автомобильного генератора параллельного возбуждения с реле-регулятором.

Как известно, электрическая система тракторов и автомобилей выполнена по однопроводной схеме: в качестве второго провода используются металлические части («масса») машины. Одна щетка и один конец обмотки возбуждения генератора соединены с корпусом генератора, т. е. с «массой», вторая щетка через изолированный от корпуса вывод Я — с одноименной клеммой реле-регулятора, а второй конец обмотки возбуждения также через изолированный от корпуса генератора вывод Ш — с клеммой Ш реле-регулятора.

При вращении якоря генератора в его обмотке индуцируется э. д. с. Ток с положительной щетки поступает на клемму Я реле, затем через замкнутые контакты K_2 и K_3 — на клемму Ш реле и в обмотку возбуждения. Кроме того, ток с положительной щетки якоря проходит через обмотку реле 2 и токовую катушку реле 1 на верхнюю катушку реле 1 и через «массу» автомобиля на отрицательную щетку генератора.

Когда на зажимах генератора номинальное напряжение, верхняя катушка реле 1 создаст магнитное поле, благодаря действию которого якорь этого реле притягивается к сердечнику и замыкает нормально разомкнутые контакты K_1 , открывая путь току для

чипи центробежного регулятора) скорость вращения коленчатого вала может изменяться в зависимости от нагрузки приблизительно в пределах 1:3. Для автомобильных генераторов это соотношение достигает 1:6.

Чтобы в этих условиях поддерживать напряжение генератора на постоянном уровне, применяют специальные приборы — реле-регуляторы.

При помощи реле-регулятора осуществляется автоматическое регулирование напряжения генератора путем изменения тока возбуждения, а вследствие этого и магнитного потока полюсов.

В соответствии с формулой (14) для поддержания

зарядки батареи аккумуляторов и питания потребителей (лампы освещения, приборы зажигания и т. п.).

Верхнюю катушку реле *1* называют катушкой напряжения; она изготовлена из тонкого провода и находится все время под напряжением генератора.

При снижении скорости вращения якоря генератора его напряжение может стать меньше напряжения батареи аккумуляторов. В этом случае притягивающая сила сердечника реле *1* ослабевает, пружина размыкает контакты K_1 , отключая батарею аккумуляторов от генератора и препятствуя тем самым возникновению «обратного» (от аккумуляторной батареи к генератору) тока. Притягивающая сила сердечника реле *1* уменьшается еще и вследствие того, что ток из батареи аккумуляторов, только начав проходить по токовой катушке реле *1* в обратном направлении, резко размагничивает сердечник. Реле *1* называют *реле обратного тока*.

Если скорость вращения якоря генератора увеличится, то это приведет к повышению напряжения на зажимах генератора. При этом через катушку реле *3* пойдет большой ток, притягивающая сила сердечника этого реле станет больше, вследствие чего якорек реле притянется к сердечнику и разомкнет контакты K_3 . В этом случае в цепь тока возбуждения вводится сопротивление R и напряжение на зажимах генератора уменьшается.

Снижение напряжения генератора приведет к уменьшению тока проходящего через катушку реле *3*, и ослаблению притягивающей силы сердечника. Вследствие этого благодаря действию пружинки контакты K_3 замкнутся, ток в обмотку возбуждения пойдет, минуя сопротивление R , напряжение генератора возрастет. Затем описанный процесс повторится. Таким образом, якорек реле *3* будет непрерывно замыкаться и размыкаться, поддерживая напряжение постоянным. Поэтому реле *3* называют *реле напряжения* вибрационного типа.

При токе, превышающем допустимое значение, сердечник реле *2* притянет якорек и разомкнет контакты K_2 ; в цепь обмотки возбуждения вводится сопротивление R , что приводит к уменьшению напряжения и тока (т. е. аналогично предыдущему случаю). Реле *2* называют *ограничителем тока*.

Все современные автомобильные генераторы оборудованы реле-регуляторами.

Мощность автомобильных генераторов постоянного тока составляет 200—600 Вт.

Тракторные генераторы постоянного тока выполняют на базе автомобильных, но без вентиляторов и вентиляционных отверстий в крышках, так как они подвергаются сильному запылению. Из-за отсутствия вентиляции их мощность на 25—30% меньше мощности автомобильных генераторов такого же размера.

Стартер представляет собой четырехполюсный двигатель постоянного тока последовательного возбуждения, питаемый от аккумуляторной батареи. Стартер служит для пуска двигателя в ход. Сразу

же после того, как двигатель начнет устойчиво работать, стартер отключают.

Обмотка возбуждения стартеров выполняется из медного провода прямоугольного сечения. Обмотка якоря волновая.

На стартерах устанавливают медно-графито-свинцовистые щетки (90% меди, 6% свинца и 4% графита) марки МГС, которые обладают малым удельным сопротивлением и большой износостойкостью. Число щеток равно числу полюсов.

Подшипники вала якоря скользящие, изготовлены из пористой графитовой бронзы.

Ни каких пусковых реостатов в цепи стартера не ставят.

КАРТОЧКА № 31 (240)

Автотракторные генераторы и стартеры

Как надо изменить сопротивление цепи возбуждения автомобильного генератора, чтобы напряжение осталось постоянным а) при увеличении скорости вращения; б) при увеличении нагрузки?	Увеличить	170
	Уменьшить	161
	а) увеличить; б) уменьшить	166
	а) уменьшить; б) увеличить	86
Когда добавочное сопротивление R включается в цепь обмотки возбуждения автомобильного генератора? (см. рис. 66)	Когда напряжение генератора становится больше номинального	125
	Когда ток нагрузки генератора превышает максимально допустимое значение	149
	В обоих указанных выше случаях	181
Когда размыкаются контакты реле обратного тока?	Когда напряжение генератора становится больше номинального	215
	Когда напряжение генератора становится меньше номинального	241
	Когда напряжение генератора становится меньше напряжения аккумуляторной батареи	281
Обмотка какого реле выполняется из небольшого числа витков толстого провода?	Обмотка реле обратного тока	305
	Обмотка реле-ограничителя тока	345
	Обмотка реле регулятора напряжения	367

Почему в качестве автомобильных и тракторных стартеров не используется двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением?	Чтобы обеспечить постоянство скорости	390
	Чтобы получить большой пусковой момент	427
	Чтобы не возникал режим «разноса»	461

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение устройства сварочной машины и автомобильных генераторов и стартеров

Ц е л ь р а б о т ы. Ознакомиться с устройством сварочной машины и автомобильных генераторов и стартеров.

П л а н р а б о т ы. 1. Ознакомиться с устройством сварочной машины с расщепленными полюсами.

2. Ознакомиться со способами регулирования силы сварочного тока.

3. Разобрать автомобильный генератор и стартер и ознакомиться с их устройством.

4. Ознакомиться с устройством реле-регулятора.

5. Зарисовать в отчет схемы сварочной машины, автомобильного генератора и стартера.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТРАНСФОРМАТОРЫ



Глава IX

НАЗНАЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ПРИНЦИП ИХ ДЕЙСТВИЯ

§ 1. Назначение трансформаторов и основные определения

Трансформатором называют статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную), имеющую в общем случае иные характеристики, в частности другое напряжение и другой ток.

Трансформаторы получили широкое распространение прежде всего в связи с необходимостью передачи электрической энергии на большие расстояния. В нашей стране разработана и осуществлена система передачи электрической энергии переменного тока напряжением 500 и 750 кВ на расстояния свыше 1000 км.

Известно, что одну и ту же электрическую мощность выгоднее передавать при повышенном напряжении и соответственно пониженном токе, поскольку в этом случае уменьшаются потери мощности на нагрев проводов, пропорциональные квадрату тока ($P = I^2 R$), и появляется возможность применять провода не только меньших сечений, но и часто изготовленные из более дешевых, чем медь, материалов (например, стальные и стале-алюминиевые провода).

Напряжение вырабатываемой на электростанциях электроэнергии повышают трансформаторами до 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500 и 750 кВ (в зависимости от передаваемой мощности и дальности передачи), а на месте потребления напряжение понижают трансформаторами до необходимой величины. В соответствии с этим трансформаторы, предназначенные для повышения напряжения, называют **п о в ы ш а ю щ и м и**, а для понижения напряжения — **п о н и ж а ю щ и м и**.

По числу фаз трансформаторы делят на **о д н о ф а з н ы е** и **т р е х ф а з н ы е**.

По назначению различают следующие трансформаторы:

а) **с и л о в ы е** — для питания силовой и осветительной нагрузки;

б) **с п е ц и а л ь н ы е** — для питания токоприемников специального назначения (электропечи, электросварочные аппараты и др.);

в) **и з м е р и т е л ь н ы е** — для подключения измерительных приборов;

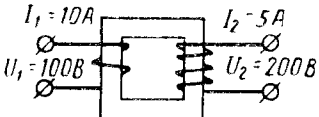
г) автотрансформаторы — для преобразования напряжения в небольших пределах.

Обмотку, к которой из сети поступает энергия переменного тока, называют *первичной*, а от которой энергию отводят — *вторичной*. В зависимости от того, на какое напряжение рассчитаны обмотки, различают обмотки *высшего и низшего* напряжений. Все величины, относящиеся к первичной или вторичной обмотке, называют соответственно первичными или вторичными и снабжают индексом *I* или *2*.

Трансформатор характеризуется рядом номинальных данных, которые указывают на его заводском щитке.

КАРТОЧКА № 32 (291)

Назначение трансформаторов и основные определения

При каком напряжении целесообразно а) передавать; б) потреблять электрическую энергию?	а) при высоком; б) при низком	582
	а) при низком; б) при высоком	613
Укажите одно из важнейших достоинств цепей переменного тока по сравнению с цепями постоянного тока	Возможность передавать энергию на дальние расстояния	644
	Возможность изменять величину напряжения (и тока) в цепи при помощи трансформатора	661
	Возможность преобразования электрической энергии в тепловую при помощи простых устройств	694
Какой трансформатор изображен на схеме? 	Повышающий	631
	Понижающий	600
Определите номинальный ток вторичной обмотки однофазного трансформатора, если $S_H = 20 \text{ кВА}$, $U_{H2} = 400 \text{ В}$	$I_{H2} \approx 30 \text{ А}$	296
	$I_{H2} = 50 \text{ А}$	262
Определите номинальный ток первичной обмотки трехфазного трансформатора, если $S_H = 180 \text{ кВА}$, $U_{H1} = 20 \text{ кВ}$	$I_{H1} \approx 5,2 \text{ А}$	255
	$I_{H1} \approx 9 \text{ А}$	195
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	171

Номинальной мощностью S_n трансформатора называют мощность на зажимах его вторичной обмотки, выраженную в вольт-амперах (ВА) или киловольт-амперах (кВА).

Номинальным первичным напряжением $U_{1н}$ называют напряжение сети, на которое рассчитан трансформатор.

Номинальным вторичным напряжением $U_{2н}$ называют напряжение на зажимах вторичной обмотки при холостом ходе трансформатора и при номинальном первичном напряжении.

Номинальными токами — первичным $I_{1н}$ и вторичным $I_{2н}$ — называют токи, соответствующие номинальным значениям напряжения и мощности трансформатора. При этом, имея в виду, что к. п. д. трансформатора достаточно высок, принимают, что номинальные мощности первичной и вторичной обмоток одинаковы. Следует заметить, что на заводском щитке всегда указывают значения линейных токов и напряжений.

Пример. Определить номинальные токи трехфазного трансформатора мощностью 180 кВА, напряжением 10 000/400 В.

Решение. Первичный номинальный ток

$$I_{1н} = \frac{S_n 10^3}{\sqrt{3} U_{1н}} = \frac{180 \cdot 1000}{1,73 \cdot 10\,000} \cong 10,4 \text{ А.}$$

Вторичный номинальный ток

$$I_{2н} = \frac{S_n 10^3}{\sqrt{3} U_{2н}} = \frac{180 \cdot 1000}{1,73 \cdot 400} \cong 260 \text{ А.}$$

На заводском щитке, кроме того, приводят следующие основные данные: номинальную частоту, число фаз, схему и группу соединения обмоток, напряжение короткого замыкания $c_k(\%)$, режим работы, наименование завода-изготовителя, год выпуска, массу трансформатора и некоторые другие.

§ 2. Принцип действия трансформатора

Принцип действия трансформатора основан на физическом явлении электромагнитной индукции.

Если на замкнутом стальном сердечнике разместить две электрически не связанные между собой обмотки (рис. 67) и одну из них присоединить к сети переменного тока, то при прохождении переменного тока по первичной обмотке в стальном сердечнике возникает переменный магнитный поток Φ .

Один и тот же магнитный поток Φ , пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, наводит, согласно закону электромагнитной индукции, в каждом из них одинаковые э. д. с. — соответственно са-

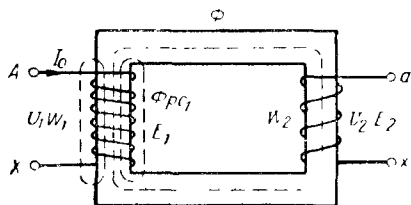


Рис. 67. Принципиальная схема трансформатора при холостом ходе.

моиндукции и взаимоиндукции. Суммарные же э. д. с., индуктируемые в обмотках, определяются количеством их витков, следовательно, отношение э. д. с., индуктируемых в обмотках, равно отношению чисел их витков:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2},$$

где E_1 и E_2 — э. д. с. первичной и вторичной обмоток, В;

w_1 и w_2 — числа витков первичной и вторичной обмоток.

При холостом ходе э. д. с. E_1 первичной обмотки приблизительно равна напряжению U_1 на ее зажимах, так как падение напряжения в ней в этом случае мало. Поэтому отношение э. д. с. можно заменить отношением напряжений на зажимах обмоток трансформатора:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2}, \quad (49)$$

которое называют *коэффициентом трансформации*. Таким образом, коэффициент трансформации трансформатора — это отношение напряжения на зажимах первичной обмотки трансформатора к напряжению на зажимах его вторичной обмотки при холостом ходе.

Если пренебречь потерями, то можно принять, что мощность, подведенная к трансформатору, равна мощности, отдаваемой им:

$$E_1 I_1 \approx E_2 I_2,$$

откуда

$$\frac{E_1}{E_2} \approx \frac{I_2}{I_1}, \quad (50)$$

т. е. токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны индуктируемым в этих обмотках э. д. с.

КАРТОЧКА № 33 (307)

Принцип действия трансформатора

Принцип действия трансформатора основан на	принципе Ленца	115
	законе Ампера	107
	законе электромагнитной индукции	87
Укажите строку, в которой указаны э. д. с., индуктируемые в первичной и вторичной обмотках трансформатора изменяющимся магнитным потоком Φ	$e_1 = - \frac{d\Phi}{dt}; e_2 = - \frac{d\Phi}{dt}$	126
	$e_1 = - w_1 \frac{d\Phi}{dt}; e_2 = - w_2 \frac{d\Phi}{dt}$	150
Чему равно отношение а) э. д. с. первичной и вторичной обмоток в каждый момент времени; б) действующих значений э. д. с.?	а) $\frac{w_1}{w_2}$; б) $\frac{w_1}{w_2}$	182
	а) $\frac{w_1}{w_2}$; б) $\frac{w_2}{w_1}$	216

Найдите коэффициент трансформации, если при холостом ходе трансформатора вольтметром измерено напряжение на первичной и вторичной обмотках: $U_1 = 10\,000$ В; $U_2 = 400$ В?	$k = 25$	242
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	282
Определите приближенное значение тока I_2 при $U_1 = 200$ В, $I_1 = 5$ А. $U_2 = 100$ В	20 А	306
	10 А	346

Глава X

ТЕОРИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

§ 1. Режим холостого хода

Холостым ходом называют такой режим, при котором к первичной обмотке трансформатора при номинальной частоте подведено номинальное напряжение, а вторичная обмотка разомкнута ($I_2 = 0$).

При подключении к первичной обмотке трансформатора синусоидально изменяющегося напряжения в ней потечет переменный ток холостого хода I_0 (рис. 67). Этот ток создает м. д. с. $I_0 \omega_1$, а та, в свою очередь, — магнитный поток, большая часть которого замыкается по стальному сердечнику и сцепляется с обеими обмотками трансформатора. Эту часть магнитного потока называют *основным* и обозначают символом Φ . Небольшая часть магнитного потока замыкается по воздуху и сцепляется только с первичной обмоткой, не принимая участия в индуктировании э. д. с. во вторичной обмотке.

Эту часть потока называют *потокот рассеяния* и обозначают $\Phi_{\text{рс1}}$.

Основной магнитный поток Φ индуктирует в первичной обмотке э. д. с. самоиндукции E_1 , а во вторичной — э. д. с. взаимной индукции E_2 . Поток рассеяния $\Phi_{\text{рс1}}$ наводит в первичной обмотке э. д. с. рассеяния $E_{\text{рс1}}$. При протекании тока по активному сопротивлению первичной обмотки возникает так называемая (условная) э. д. с. активного сопротивления E_{a1} , направленная против тока. Поскольку значения э. д. с. $E_{\text{рс1}}$ и E_{a1} очень малы, при построении векторной диаграммы холостого хода трансформатора (рис. 68) ими пренебрегают.

Ток холостого хода I_0 опережает вектор потока Φ на угол потерь α , который равен $5-7^\circ$. Согласно векторной диаграмме, угол сдвига по фазе индуктируемых в обмотках трансфор-

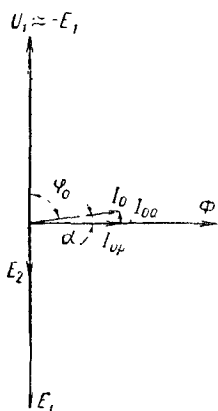


Рис. 68. Векторная диаграмма холостого хода трансформатора.

матора э. д. с. по отношению к основному магнитному потоку Φ составляет 90° . На ней также видно, что приложенное к первичной обмотке трансформатора напряжение U_1 уравнивается обратной э. д. с. E_1 .

Значения э. д. с., индуцируемых в обмотках основным магнитным потоком Φ , можно определить по формулам

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 \Phi_m, \quad (51)$$

$$E_2 = 4,44 f_1 w_2 \Phi_m, \quad (52)$$

где E_1 и E_2 — э. д. с. в первичной и вторичной обмотках, В;

f_1 — частота тока в сети, Гц;

w_1 и w_2 — числа витков первичной и вторичной обмоток;

Φ_m — максимальное значение основного магнитного потока, Вб.

Ток холостого хода состоит из двух составляющих:

а) активной I_{0a} , совпадающей по направлению с вектором напряжения U_1 ;

б) реактивной (намагничивающей) I_{0p} , которая совпадает с вектором основного магнитного потока Φ .

Действующее значение тока холостого хода

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}. \quad (53)$$

Активная составляющая тока может быть определена из формулы

$$I_{0a} = \frac{P_0}{U_1}. \quad (54)$$

Обычно соотношение между активной составляющей тока и током холостого хода

$$\frac{I_{0a}}{I_0} \leq 0,4.$$

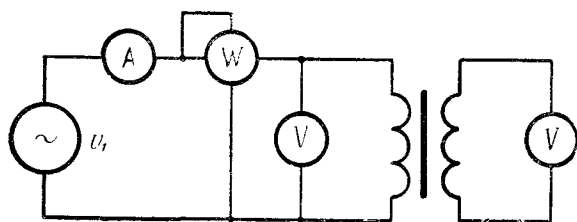
В силовых трансформаторах ток I_0 невелик: около $(4 \div 10) \% I_n$ для трансформаторов малой мощности и $(1 \div 3) \% I_n$ для трансформаторов большой мощности.

Потери мощности при холостом ходе трансформатора незначительны. Так как ток холостого хода трансформатора мал, то потерями в меди первичной обмотки пренебрегают и считают, что мощность холостого хода идет только на покрытие потерь в стали, т. е. $P_0 = P_{ст}$.

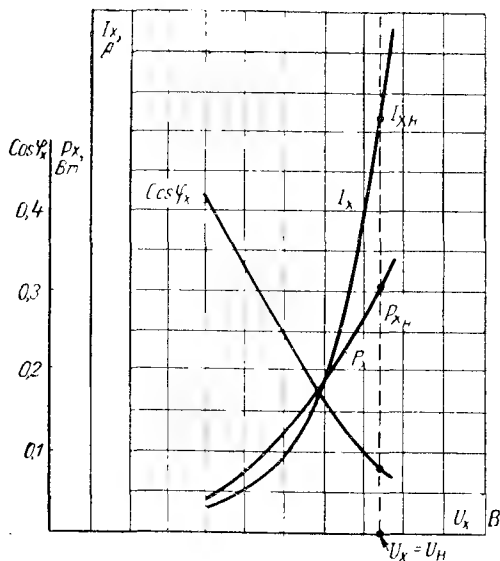
Потери в стали трансформатора не зависят от его нагрузки. Они пропорциональны квадрату магнитной индукции (B^2), так как частота в сети постоянна.

Удельные потери стали составляют примерно 1,2—3,9 Вт/кг стали, а в последних марках холоднокатаной легированной стали они снижены до 0,8 Вт/кг стали.

В современных трансформаторах потери в стали колеблются от 0,2 до 1,8% S_n трансформатора, причем большие значения относятся к трансформаторам малых мощностей.



а



б

Рис. 69. Опыт холостого хода трансформатора:
а — схема; б — характеристики.

С целью выявления ряда важных параметров, характеризующих режим холостого хода трансформатора, проводят опыт холостого хода по схеме, изображенной на рисунке 69, а.

Характеристиками холостого хода трансформатора называют зависимость тока холостого хода I_x , мощности холостого хода P_x и коэффициента мощности $\cos \varphi_x$ от напряжения U_1 при постоянной частоте в сети (рис. 69, б).

При снятии характеристик холостого хода напряжение U_1 изменяют примерно от 30 до 110% U_N .

Как показывают характеристики, зависимость тока холостого хода $I_x = f(U_1)$ при малых значениях U_1 почти прямолинейна, а затем ток быстро возрастает вследствие насыщения стали трансфор-

матора. Зависимость мощности холостого хода $P_x = f(U_1)$ имеет параболический характер, так как $P_x \equiv U_1^2$. Коэффициент мощности $\cos \varphi_x$ при увеличении напряжения резко уменьшается. Практический вывод из этих характеристик таков: нельзя включать трансформатор на повышенное напряжение, так как это приводит к повышению потерь в стали и уменьшению коэффициента мощности.

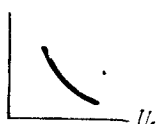
Из векторной диаграммы (см. рис. 68) видно, что угол φ_0 при холостом ходе трансформатора приближается к 90° , поэтому $\cos \varphi_0$ трансформатора в режиме холостого хода очень мал.

КАРТОЧКА № 34 (188)

Режим холостого хода

Какое из приведенных условий не определяет режим холостого хода трансформатора?	Ток нагрузки равен нулю	368
	Ток в первичной обмотке равен нулю	391
	К первичной обмотке подведено номинальное напряжение	428
	Частота тока в обмотках равна номинальной частоте	462
Основной поток замыкается в стальном сердечнике трансформатора. Можно ли основной магнитный поток считать пропорциональным току первичной обмотки?	Можно	552
	Нельзя	583
	Можно, но только на линейном участке кривой намагничивания сердечника	614
Магнитный поток рассеяния замыкается через воздух. Можно ли считать магнитный поток рассеяния пропорциональным току первичной обмотки?	Можно	645
	Нельзя	662
Ток холостого хода трансформатора	опережает по фазе основной магнитный поток на небольшой угол	411
	отстает по фазе от основного магнитного потока на небольшой угол	341
Найдите действующие значения э. д. с. в обмотках, если $\Phi_m = 0,02$ Вб, $f = 50$ Гц, $w_1 = 100$, $w_2 = 50$.	$E_1 = 444$ В; $E_2 = 222$ В	327
	$E_1 = 444$ В; $E_2 = 0$	297
	Для решения задачи недостаточно данных	263

Режим холостого хода

Определите активную составляющую тока холостого хода трансформатора, если в режиме холостого хода он потребляет мощность 5 Вт, а напряжение на его первичной обмотке 500 В	0,01 А	265
	0,1 А	196
	1 А	172
В режиме холостого хода рассмотренный в предыдущем вопросе трансформатор потребляет ток 0,2 А. Найдите намагничивающую составляющую тока холостого хода	0,01 А	116
	0,1 А	108
	0,2 А	88
В режиме холостого хода трансформатор потребляет 3,6 Вт, масса стали сердечника трансформатора 3 кг. Определите удельные потери в стали	3,6 Вт/кг	243
	1,2 Вт/кг	283
	Для решения задачи недостаточно данных	307
Изображена характеристика холостого хода трансформатора. Какая величина отложена по оси ординат? 	I_x	522
	P_x	553
	$\cos \varphi_x$	584
Что произойдет, если трансформатор, рассчитанный на 127 В, включить в сеть 220 В?	Резко увеличится ток холостого хода	615
	Резко увеличатся ток холостого хода и потери в стали	646
	Резко увеличатся ток холостого хода и потери в стали, уменьшится коэффициент мощности	663

§ 2. Работа трансформатора при нагрузке

Как было показано ранее, при холостом ходе трансформатора в первичной обмотке протекает ток I_0 , который создает м. д. с. $I_0 \omega_1$, а эта м. д. с. — основной магнитный поток Φ и поток рассеяния $\Phi_{\text{рсл}}$. Основной магнитный поток Φ индуцирует в обмотках трансформатора э. д. с. E_1 и E_2 . Если теперь к зажимам вторичной обмотки трансформатора ax (рис. 70, а) присоединить нагрузку с сопротив-

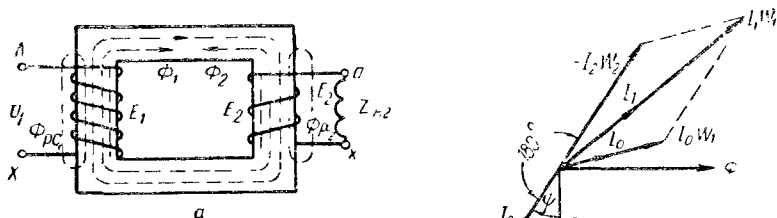


Рис. 70. Работа трансформатора при нагрузке:

a — принципиальная схема; *б* — векторная диаграмма м. д. с. трансформатора.

лением $Z_{\text{нг}}$, то по вторичной обмотке потечет ток I_2 , отстающий от э. д. с. E_2 на угол φ (рис. 70, б).

При появлении тока нагрузки во вторичной обмотке соответственно увеличивается ток в первичной обмотке, где вместо тока I_0 теперь протекает ток I_1 , создающий м. д. с. $I_1 w_1$.

По формуле (51) э. д. с. первичной обмотки $E_1 = 4,44 f_1 w_1 \Phi_m$. Пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, примем, что $U_1 \approx E_1$. Если напряжение и частота в сети постоянны, то можно написать следующее равенство: $U_1 \approx E_1 = \text{const}$. Поскольку члены 4,44, f_1 и w_1 — постоянные числа, то при неизменном напряжении и частоте тока в сети магнитный поток трансформатора есть величина постоянная и от нагрузки не зависит, т. е.

$$I_0 w_1 = \bar{I}_1 w_1 + \bar{I}_2 w_2. \quad (55)$$

Это уравнение называют *уравнением м. д. с. трансформатора*.

М. д. с. $I_0 w_1$ трансформатора при холостом ходе и м. д. с. $I_2 w_2$ во вторичной обмотке при нагрузке нанесены на векторную диаграмму. Из уравнения м. д. с. (55) можно определить м. д. с. первичной обмотки:

$$\bar{I}_1 w_1 = \bar{I}_0 w_1 + (-\bar{I}_2 w_2).$$

Таким образом, для получения м. д. с. первичной обмотки $I_1 w_1$ нужно к м. д. с. холостого хода прибавить м. д. с. вторичной обмотки, взятую с обратным знаком, т. е. повернув вектор этой м. д. с. на 180° . Сложив теперь векторы этих м. д. с., получим м. д. с. $I_1 w_1$ первичной обмотки. Как видно из векторной диаграммы, м. д. с. первичной обмотки намагничивает сердечник трансформатора, а м. д. с. вторичной обмотки его размагничивает. Геометрическая сумма векторов м. д. с. первичной и вторичной обмоток дает вектор результирующей м. д. с., которая равна м. д. с. $I_0 w_1$ трансформатора при холостом ходе и создает магнитный поток Φ .

Можно рассматривать вопрос и так, что м. д. с. первичной обмотки создает магнитный поток Φ_1 , намагничивающий трансформатор, а м. д. с. вторичной обмотки — магнитный поток Φ_2 , размагничивающий его, в результате чего в сердечнике образуется магнитный поток Φ .

Ток I_1 в первичной обмотке создаст также магнитный поток рассеяния $\Phi_{\text{рс1}}$, силовые линии которого не сцепляются с вторичной обмоткой (замыкаются по воздуху), а ток I_2 вторичной обмотки создаст аналогичный магнитный поток рассеяния $\Phi_{\text{рс2}}$.

Разделим обе части уравнения м. д. с. трансформатора на w_1 :

$$\frac{I_0 w_1}{w_1} = \frac{I_1 w_1}{w_1} + \frac{I_2 w_2}{w_1},$$

откуда

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1},$$

но $\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k}$, поэтому $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k}$.

Так как числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора разные, то э. д. с. и токи в этих обмотках также неодинаковы. Они отличаются друг от друга в k или в $1/k$ раз. Поэтому сопоставлять эти величины или строить векторные диаграммы, где величины вторичной и первичной обмоток нужно складывать, нельзя, как нельзя складывать, скажем, расстояния, измеренные на картах разных масштабов, не приведя предварительно их к одному масштабу.

Например, нельзя было бы получить значение падения напряжения в нагруженном трансформаторе путем непосредственного суммирования падений напряжения каждой из обмоток. Так как эти обмотки имеют разные сопротивления и в них протекают разные токи, то и векторы, выражающие величину падений напряжения, не одинаковы по величине для каждой обмотки.

В трансформаторах основные данные вторичной обмотки приводят к первичной по тому же принципу, что и расстояния, измеренные на картах разных масштабов, приводят к одному масштабу, т. е. обычный трансформатор заменяют приведенным, у которого число витков w_1 первичной обмотки равно числу витков w_2 вторичной обмотки ($k = 1$). Символы, которыми обозначают приведенные величины, снабжают штрихом сверху.

Для приведения э. д. с. ее нужно умножить на коэффициент трансформации, так как во вторичной обмотке она меньше в k раз:

$$E'_2 = kE_2 = E_1. \quad (56)$$

Аналогично приводят напряжение и другие э. д. с. в трансформаторе.

Когда приводят токи, соблюдают условие, согласно которому необходимо, чтобы кажущаяся мощность вторичной обмотки после приведения не изменилась, т. е. $E_2 I_2 = E'_2 I'_2$. Отсюда

$$I'_2 = \frac{E_2 I_2}{E'_2} = \frac{E_2 I_2}{kE_2} = \frac{I_2}{k}. \quad (57)$$

Таким образом, для приведения тока его нужно разделить на коэффициент трансформации.

Если приводят активное сопротивление, то исходят из условия, по которому потери в меди приведенного трансформатора остаются без изменения, т. е.

$$I_2^2 r_2 = (I_2')^2 r_2',$$

откуда

$$r_2' = \left(\frac{I_2'}{I_2} \right)^2 r_2 = \frac{I_2^2}{\left(\frac{I_2'}{k} \right)^2} r_2 = k^2 r_2. \quad (58)$$

Следовательно, для приведения активного сопротивления его нужно умножить на квадрат коэффициента трансформации.

То же самое можно сказать и о приведении индуктивного и полного сопротивлений. Так как $E_{pc2} = I_{x2}$, то

$$x_2' = \frac{E'_{pc2}}{I_2'} = \frac{k E_{pc2}}{\frac{I_2}{k}} = k^2 x_2. \quad (59)$$

$$z_2' = \sqrt{(r_2')^2 + (x_2')^2} = \sqrt{(k^2 r_2)^2 + (k^2 x_2)^2} = k^2 \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = k^2 z_2. \quad (60)$$

Рассмотрим векторную диаграмму приведенного трансформатора при активно-индуктивной нагрузке (рис. 74). Сначала построим отдельно векторную диаграмму для вторичной обмотки (рис. 74, а). Проведем вектор основного магнитного потока Φ . Этот магнитный поток индуцирует в первичной и вторичной обмотках трансформаторов э. д. с. E_1 и E_2' , векторы которых отстают от вектора магнитного потока Φ на 90° . Так как нагрузка на трансформатор активно-индуктивная, то ток I_2' отстает от вектора э. д. с. E_2' на некоторый угол ψ .

Согласно уравнению э. д. с. для вторичной обмотки, напряжение на зажимах вторичной обмотки U_2' можно рассматривать как геометрическую сумму э. д. с., индуцируемых в этой обмотке. Во вторичной обмотке индуцируются:

- 1) э. д. с. E_2' , создаваемая основным магнитным потоком Φ и отстающая от него на 90° ;
- 2) э. д. с. рассеяния E'_{pc2} , создаваемая магнитным потоком рассеяния Φ_{pc2} , который совпадает по фазе с током I_2' ; вектор э. д. с. E'_{pc2} отстает от вектора магнитного потока рассеяния Φ_{pc2} на 90° ;
- 3) условная э. д. с. активного сопротивления E'_{a2} , создаваемая током I_2' на активном сопротивлении r_2' вторичной обмотки; вектор этой э. д. с. направлен противоположно вектору тока I_2' .

Уравнение э. д. с. вторичной обмотки

$$U_2' = E_2' + E'_{pc2} + E'_{a2}. \quad (61)$$

Сложив геометрически все три вектора э. д. с., получим вектор напряжения U_2' на зажимах обмотки. Угол между векторами тока и напряжения обозначим через φ_2 . При чисто активной нагрузке $\varphi_2 = 0$.

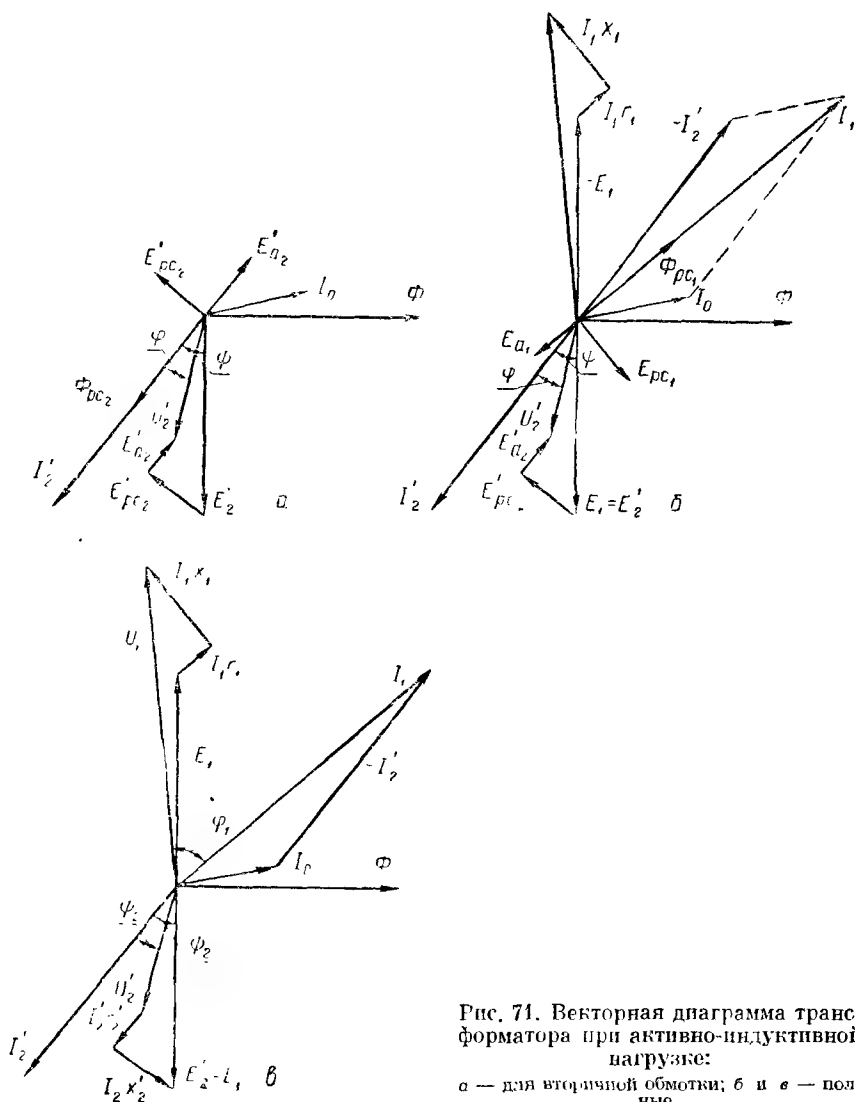


Рис. 71. Векторная диаграмма трансформатора при активно-индуктивной нагрузке:

а — для вторичной обмотки; б и в — полные.

Для построения полной векторной диаграммы находим вектор тока I_1 . С этой целью поворачиваем вектор тока I_2' на 180° и, складывая его геометрически с вектором тока I_0 , находим вектор тока I_1 (рис. 71, б).

Согласно уравнению э. д. с. для первичной обмотки, подводимое к первичной обмотке трансформатора напряжение уравновешивается суммой обратных э. д. с., индуцируемых в этой обмотке.

В первичной обмотке, как и в режиме холостого хода, индуктируется:

- 1) э. д. с. E_1 — основным магнитным потоком Φ ;
- 2) э. д. с. E_{psc1} — магнитным потоком рассеяния Φ_{psc1} , который создается током I_1 ;

3) условная э. д. с. E_{a1} — током I_1 на активном сопротивлении r_1 обмотки, вектор которой направлен против вектора этого тока. Следовательно

$$\bar{U}_1 = -(\bar{E}_1 + \bar{E}_{\text{psc1}} + \bar{E}_{a1}). \quad (62)$$

Вектор напряжения, как и в режиме холостого хода, изображают в виде геометрической суммы трех составляющих, каждая из которых уравнивает соответствующую обратную э. д. с.:

$$E_{\text{psc1}} \rightarrow I_1 x_1; \quad E_{a1} \rightarrow I_1 r_1; \quad E_1 \rightarrow -E_1.$$

Заменяв векторы обратных э. д. с. векторами падений напряжений, построим полную векторную диаграмму (рис. 71, в).

Векторную диаграмму трансформатора можно упростить. С этой целью пренебрегают намагничивающим током I_0 , так как он не превышает в среднем 5% I_n для большинства трансформаторов, и все векторы вторичной обмотки трансформатора поворачивают на 180° . Тогда ток I_1 будет равен току I_2 .

Для построения упрощенной диаграммы вектор тока $I_1 = I_2$ проводят вертикально, затем под углом φ_2 откладывают вектор напряжения U'_2 (рис. 72, а). С вектором тока совпадает по фазе падение напряжения $I_2 r'_2$ на активном сопротивлении вторичной обмотки, а перпендикулярно к вектору тока расположен вектор падения напряжения $I_2 x'_2$ на индуктивном сопротивлении вторичной обмотки. Замыкающий вектор ОА — это вектор э. д. с. $E_1 = E_2$.

От конца вектора э. д. с., параллельно вектору тока, откладывают вектор падения напряжения $I_1 r_1$ на активном сопротивлении первичной обмотки, а перпендикулярно вектору тока — падение $I_1 x_1$ на индуктивном сопротивлении. Вектор ОВ — это вектор напряжения сети U_1 .

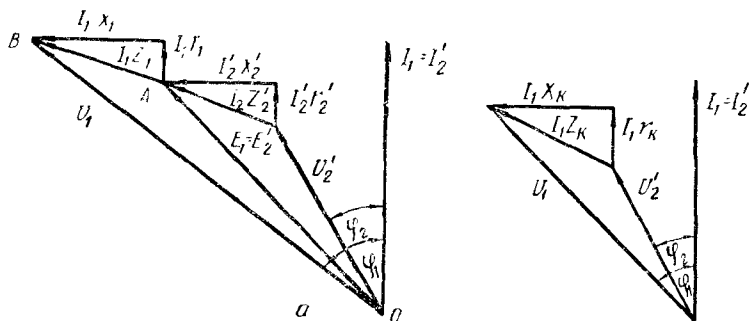


Рис. 72. Упрощенные векторные диаграммы трансформатора при нагрузке,

Работа трансформатора при нагрузке

Чему равны: а) м. д. с. первичной обмотки; б) м. д. с. первичной обмотки при холостом ходе; в) м. д. с. вторичной обмотки?	а) $w_1 I_1$; б) $w_1 I_0$; в) $w_2 I_2$	695
	а) $w_1 I_1$; б) $w_1 I_0$; в) $w_2 I_2$	712
	а) $w_1 I_1$; б) $w_1 I_2$; в) $w_2 I_2$	680
Найдите выражение результирующей м. д. с. первичной и вторичной обмоток трансформатора	$F = F_1 + F_2$	632
	$F = \vec{F}_1 + F_2$	601
	$F = F_1 - F_2$	568
Как изменится магнитный поток Φ в сердечнике трансформатора при увеличении тока во вторичной обмотке (тока нагрузки)?	Увеличится	537
	Не изменится	507
	Уменьшится	478
Как изменится результирующая м. д. с. обмоток трансформатора при уменьшении тока во вторичной обмотке?	Увеличится	446
	Не изменится	413
	Уменьшится	412
Найдите формулу результирующей м. д. с., выраженной через токи первичной и вторичной обмоток	$w_1 I_0 = w_1 I_1 + w_2 I_2$	342
	$w_1 I_0 = w_1 I_1 - w_2 I_2$	328
	$w_1 I_0 = w_1 I_1 - w_2 I_2$	298

Падения напряжения на активных сопротивлениях обеих обмоток можно объединить, то же можно сделать и в отношении падений напряжения на индуктивных сопротивлениях обеих обмоток:

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 = I_1 (r_1 + r_2) = I_1 r_K,$$

$$I_1 x_1 + I_2 x_2 = I_1 (x_1 + x_2) = I_1 x_K,$$

где

$$r_1 + r_2 = r_K \quad (63)$$

$$x_1 + x_2 = x_K \quad (64)$$

Сопротивления r_K , x_K , а также z_K называют соответственно активным, индуктивным и полным сопротивлениями короткого замыкания трансформатора или параметрами короткого замыкания трансформатора.

Тогда упрощенная векторная диаграмма будет иметь вид, представленный на рисунке 72, б.

Обычно

$$r_1 \approx r'_2 = \frac{r_K}{2}, \quad (65)$$

$$x_1 \approx x'_2 = \frac{x_K}{2}. \quad (66)$$

КАРТОЧКА № 37 (254)

Работа трансформатора при нагрузке

Как надо преобразовать формулу результирующей м. д. с., чтобы получить формулу тока холостого хода, выраженного через токи первичной и вторичной обмоток?	Разделить на w_1	264
	Разделить на w_2	278
	Разделить на k	197
Э. д. с. вторичной обмотки 100 В, коэффициент трансформации $k = 0,5$. Определите приведенное значение э. д. с. вторичной обмотки	$E'_2 = 100$ В	173
	$E'_2 = 200$ В	129
	$E'_2 = 50$ В	109
Определите приведенное значение э. д. с. вторичной обмотки, если э. д. с. первичной обмотки 50 В	$E'_2 = 50$ В	89
	$E'_2 = 100$ В	128
	Задача неопределенна, так как неизвестен коэффициент трансформации	152
Определите приведенное значение тока во вторичной обмотке, если $I_2 = 10$ А и $k = 0,5$	$I'_2 = 5$ А	211
	$I'_2 = 10$ А	218
	$I'_2 = 20$ А	244
Определите приведенное значение активного сопротивления вторичной обмотки, если $r_2 = 1$ Ом и $k = 0,5$	$r'_2 = 2$ Ом	284
	$r'_2 = 0,5$ Ом	308
	$r'_2 = 0,25$ Ом	348

КАРТОЧКА № 38 (203)

Работа трансформатора при нагрузке

Определите приведенное значение индуктивного сопротивления вторичной обмотки, если $x_2 = 10$ Ом и $k = 0,5$	$x'_2 = 20$ Ом	370
	$x'_2 = 10$ Ом	393
	$x'_2 = 2,5$ Ом	429

Определите приведенное значение полного сопротивления вторичной обмотки, если $z_2 = 10 \text{ Ом}$ и $k = 0,5$	$z'_2 = 20 \text{ Ом}$	463
	$z'_2 = 10 \text{ Ом}$	492
	$z'_2 = 2,5 \text{ Ом}$	523
Как направлен вектор I_2' на векторной диаграмме, соответствующей выражению $U'_2 = E'_2 + \bar{I}_2' r'_2 + \bar{I}_2' x'_2$?	Совпадает по направлению с вектором тока I_2	554
	Опережает вектор тока I_2 на 90°	585
	Отстает от вектора тока I_2 на 90°	616
Как направлен на векторной диаграмме вектор I_2' падения напряжения на индуктивном сопротивлении вторичной обмотки трансформатора?	Совпадает по направлению с вектором тока I_2	647
	Опережает вектор тока I_2 на 90°	664
	Отстает от вектора тока I_2 на 90°	696
Как направлен на векторной диаграмме вектор э. д. с. рассеяния вторичной обмотки трансформатора?	Совпадает по направлению с вектором тока I_2	713
	Опережает вектор тока I_1 на 90°	681
	Отстает от вектора тока I_2 на 90°	633

§ 3. Режим короткого замыкания трансформатора

При работе трансформатора может возникнуть ситуация, когда его вторичная обмотка замыкается накоротко, в то время как к первичной подведено номинальное напряжение. Такой режим называют аварийным коротким замыканием. Поскольку ток короткого замыкания в этом случае может превысить номинальный в несколько десятков раз, то специальная аппаратура (автоматические выключатели, предохранители и т. п.) должна без выдержки времени (мгновенно) отключить трансформатор от сети, тем самым предотвратив тяжелые последствия.

Для исследования ряда важных параметров трансформатора проводят опыт короткого замыкания, при котором вторичную обмотку замыкают накоротко, а к первичной подводят пониженное напряжение такой величины, чтобы токи короткого замыкания в обмотках трансформатора были равны номинальным. Схема опыта короткого замыкания приведена на рисунке 73, а.

Подводимое в этом случае к трансформатору напряжение называют *напряжением короткого замыкания*, его значение выражают обычно в процентах от номинального напряжения

$$U_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\text{н}}}{100} \quad (67)$$

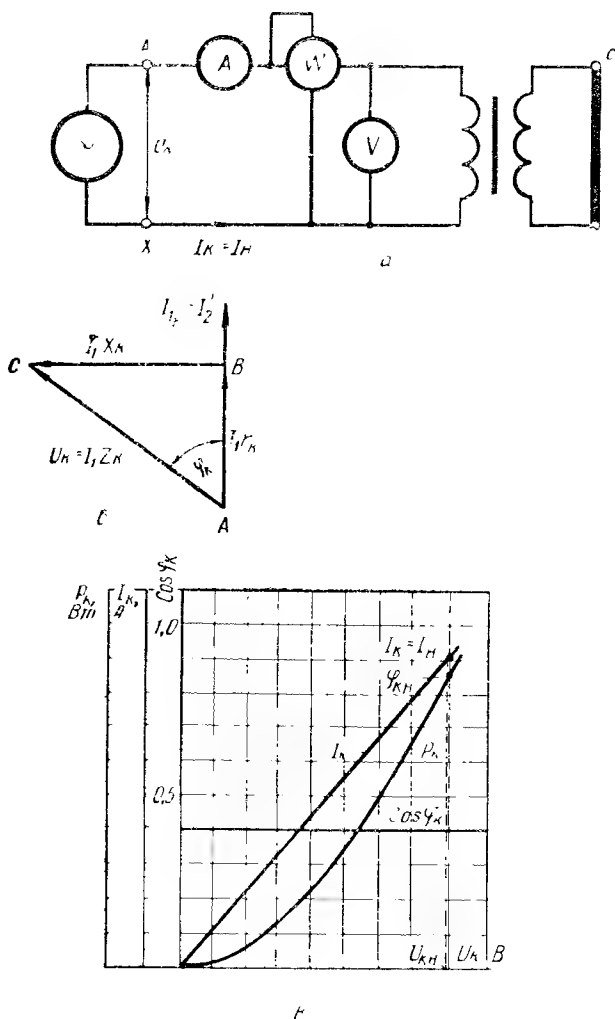


Рис. 73. Опыт короткого замыкания трансформатора:
 а — схема; б — упрощенная векторная диаграмма; в — характеристики короткого замыкания.

и приводят на заводском щитке трансформатора. Для отечественных трансформаторов напряжением до 35 кВ $U_K = 4,5 \div 7,5\%$, а напряжением 110 кВ $U_K = 10,5 \div 11,5\%$.

Упрощенная векторная диаграмма трансформатора при опыте короткого замыкания имеет вид треугольника ABC , который принято называть *треугольником короткого замыкания* (рис. 73, б). Вектор напряжения $U'_2 = 0$, так как вторичная обмотка трансформатора замкнута накоротко.

Напряжение U_K , подведенное к трансформатору при опыте, состоит из двух составляющих: падений напряжения на активном сопротивлении $I_1 r_K$ и на индуктивном сопротивлении $I_1 x_K$ обмоток.

В схеме опыта короткого замыкания (рис. 73, а) зажимы ax вторичной обмотки трансформатора тщательно замыкают накоротко, а к зажимам AX первичной обмотки подводят от генератора переменного тока пониженное напряжение U_K .

Из данных опыта короткого замыкания можно определить параметры короткого замыкания z_K , r_K и x_K .

Так как $U_K = I_K z_K$,

то

$$z_K = \frac{U_K}{I_K}. \quad (68)$$

Подведенная к трансформатору при опыте короткого замыкания мощность расходуется в основном на покрытие потерь в меди обмоток. Потерями в стали можно пренебречь, поскольку они очень незначительны, так как мал магнитный поток Φ трансформатора. Таким образом, можно считать, что потери при коротком замыкании состоят из потерь P_{M1} в первичной и потерь P_{M2} во вторичной обмотках трансформатора:

$$P_K = P_{M1} + P_{M2} = I_K^2 (r_1 + r_2) = I_K^2 r_K,$$

откуда

$$r_K = \frac{P_K}{I_K^2}, \quad (69)$$

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}, \quad (70)$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K I_K} = \frac{r_K}{z_K}. \quad (71)$$

Для получения реального значения активного сопротивления короткого замыкания найденное из опыта сопротивление приводят к условной температуре 75°C — средней температуре обмоток трансформатора в процессе эксплуатации при нагрузке:

$$r_{K75} = r_{Kt} \frac{340}{235 + t}, \quad (72)$$

где r_{K75} — сопротивление обмоток при температуре 75° , Ом;

r_{Kt} — сопротивление обмоток, измеренное при температуре t , Ом;

t — температура обмоток при проведении опыта, $^\circ \text{C}$.

Так как при опыте короткого замыкания по обмоткам протекают номинальные токи, то, определив мощность P_K , мы находим величину потерь в меди обмоток трансформатора при его номинальной нагрузке. Для этого в основном и проводят опыт короткого замыкания.

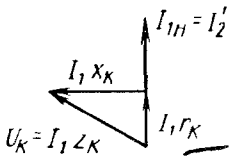
Изменяя подводимое к первичной обмотке трансформатора напряжение от нуля до U_K , можно построить характеристики короткого замыкания. Зависимости мощности P_K , тока I_K и коэффициента мощности короткого замыкания $\cos \varphi_K$ от подводимого напряжения при постоянной частоте сети называют *характеристиками короткого замыкания* (рис. 73, в). Как показывают эти характеристики, при изме-

нении напряжения коэффициент мощности $\cos \varphi_K$ остается постоянным, ток I_K прямо пропорционален напряжению U_K , мощность короткого замыкания резко возрастает с увеличением напряжения. Поскольку $P_K = I_K^2 r_K$, а ток I_K прямо пропорционален напряжению U_K , то зависимость $P_K = f(U_K)$ имеет параболический вид.

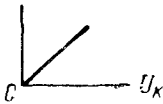
Мощность короткого замыкания при номинальной нагрузке трансформаторов, приведенная к условной температуре 75° , для силовых трансформаторов составляет 1—3,7% их номинальной мощности.

КАРТОЧКА № 39 (207)

Режим короткого замыкания трансформатора

На шитке трансформатора обозначены: $U_H = 110$ кВ; $U_K\% = 11\%$.	10 кВ	174
Какое напряжение надо подать на первичную обмотку, чтобы в режиме короткого замыкания в обмотках трансформатора протекали номинальные токи?	12,1 кВ	130
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	110
	Два амперметра, вольтметр, ваттметр	90
	Амперметр, два вольтметра, ваттметр	144
Какие приборы необходимы для опыта короткого замыкания однофазного трансформатора?	Амперметр, вольтметр, ваттметр	153
	Два амперметра, два вольтметра, ваттметр	212
На рисунке изображена	векторная диаграмма трансформатора	219
	упрощенная векторная диаграмма трансформатора	245
	упрощенная векторная диаграмма трансформатора в режиме короткого замыкания	285
При номинальном режиме работы потери в стали сердечника трансформатора составляют 400 Вт.	1 Вт	309
Определите потери в стали при опыте короткого замыкания, если $U_K\% = 5\%$	20 Вт	349
	400 Вт	371
	Потери в стали сердечника	394
Что показывает ваттметр в опыте короткого замыкания трансформатора?	Потери в меди обмоток	430
	Потери в меди первичной обмотки	464

Режим короткого замыкания трансформатора

В опыте короткого замыкания трансформатора вольтметр показывает 5 В, амперметр — 1 А, ваттметр — 3 Вт. Определите z_K, r_K.	$z_K = 5 \text{ Ом}; r_K = 3 \text{ Ом}$	493
	$z_K = 1 \text{ Ом}; r_K = 3 \text{ Ом}$	524
	$z_K = 5 \text{ Ом}; r_K = 1 \text{ Ом}$	555
Для условий предыдущего опыта определите x_K, $\cos \varphi_K$.	$x_K = 3 \text{ Ом}; \cos \varphi_K = 0,6$	586
	$x_K = 4 \text{ Ом}; \cos \varphi_K = 0,6$	617
	$x_K = 4 \text{ Ом}; \cos \varphi_K = 0,8$	643
В каком случае трансформатор нагревается больше?	В опыте холостого хода	665
	В опыте короткого замыкания	697
	При номинальной нагрузке	714
	Во всех перечисленных выше случаях нагрев трансформатора примерно одинаков	682
Изображена характеристика короткого замыкания трансформатора. Какая величина откладывается по оси ординат? 	P_K	634
	U_2	602
	I_K	569
	$\cos \varphi_K$	538
Изображена характеристика короткого замыкания трансформатора. Какая величина откладывается по оси ординат? 	U_2	508
	I_K	479
	P_K	447
	$\cos \varphi_K$	414

§ 4. Изменение вторичного напряжения трансформатора

Изменением напряжения трансформатора при заданном коэффициенте мощности называют алгебраическую разницу между номинальным вторичным напряжением и напряжением, устанавливающимся на зажимах вторичной обмотки при номинальных значениях вторичного тока, частоты и первичного напряжения:

$$\Delta U = U_{2H} - U_2 \text{ В.} \quad (73)$$

Изменение напряжения обычно определяют в процентах от номинального вторичного напряжения:

$$\Delta U \% = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} 100. \quad (74)$$

Пример 1. Определить изменение напряжения трансформатора, если $U_{2H} = 400 \text{ В}$, $U_2 = 380 \text{ В}$.

Решение.

$$\Delta U \% = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}} 100 = \frac{400 - 380}{400} 100 = 5\%.$$

Изменение напряжения ΔU трансформатора можно найти, сняв его внешнюю характеристику.

Внешней характеристикой трансформатора называют зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от тока нагрузки при постоянном первичном напряжении, частоте и коэффициенте мощности $\cos \varphi_2$.

Как видно из рисунка 74, на котором представлены внешние характеристики трансформатора при $\cos \varphi_2 = 1$ — активная нагрузка (кривая 1) и при $\cos \varphi_2 = 0,8$ — активно-индуктивная нагрузка (кривая 2), напряжение трансформатора с увеличением нагрузки уменьшается, причем при активно-индуктивной нагрузке изменение напряжения будет больше, чем при активной. Определив разницу между U_{2H} при холостом ходе и U_2 при номинальной нагрузке, находят изменение напряжения ΔU .

Однако этот способ определения ΔU на практике не применяют, так как он неэкономичен, потому что для снятия внешней характеристики нужно нагрузить трансформатор на полную мощность, и, кроме того, недостаточно точен, так как нужно измерять большие напряжения.

В реальных расчетах изменение напряжения ΔU определяют аналитически при помощи упрощенной векторной диаграммы трансформатора.

На рисунке 75, а изображена упрощенная векторная диаграмма трансформатора при холостом ходе, которая представлена одним вектором OA . Так как в этом режиме, если пренебречь током холос-



Рис. 74. Внешние характеристики трансформатора.

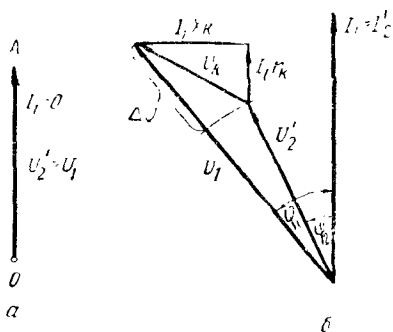
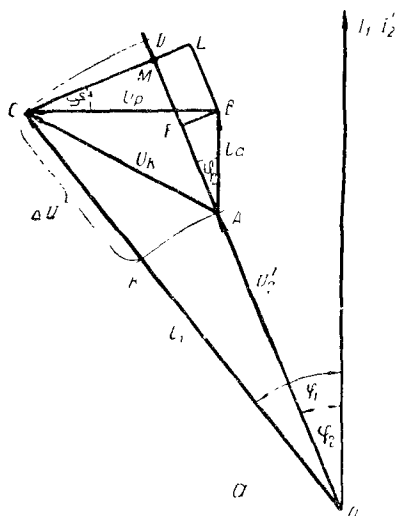


Рис. 75. Упрощенная векторная диаграмма трансформатора:
а — при холостом ходе; б — при нагрузке.

замыкания ABC , катеты которого $U_a = I_1 r_k$ и $U_b = I_1 x_k$, а гипотенуза $U_k = I_1 z_k$. Сделав засечку радиусом U_2' на векторе U_1 , получим алгебраическую разность между векторами $U_1 - U_2' = \Delta U$. Продолжим вектор U_2' до величины, равной U_1 , и затем проведем дугу радиусом U_1 до пересечения ее с продолжением линии вектора U_2' . Отрезок $AD = KC = \Delta U$.

Из точки C восстановим перпендикуляр к линии OD до пересечения с ней в точке M . Из вершины прямого угла треугольника короткого замыкания проведем линию BF , перпендикулярную к линии OD , до пересечения с ней в точке F . Тогда $\Delta U = AF + FM + MD$. Но отрезок MD очень мал по сравнению с отрезками AF и FM , поэтому им можно пренебречь и считать, что $\Delta U = AF + FM$.



того хода, $I_1 = I_2 = 0$, а у приведенного трансформатора $w_1 = w_2$ ($k = 1$), то $U_1 = U_2' = OA$.

Векторная диаграмма при нагрузке представлена на рисунке 75, б. Здесь U_2' меньше U_1 вследствие того, что в обмотках трансформатора имеется падение напряжения $I_1 z_k = U_k$. Алгебраическая разность между U_1 и U_2' и дает значение ΔU .

Построим упрощенную векторную диаграмму нагруженного трансформатора (рис. 76, а), построив к концу вектора напряжения U_2' треугольник короткого замыкания

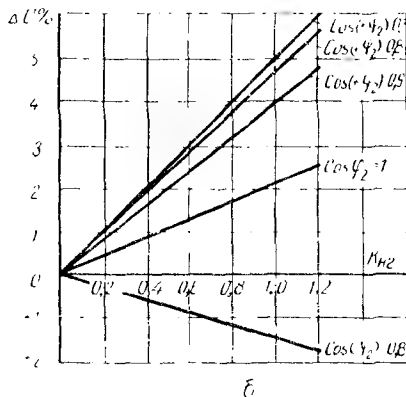


Рис. 76. Определение ΔU аналитическим способом (а) и зависимость изменения напряжения ΔU % от нагрузки трансформатора (б).

Проведем из точки B линию BL , параллельную линии OD , до пересечения ее с продолжением линии CM в точке L . В получившемся прямоугольнике $BL = FM$.

Рассмотрим треугольник CBL и треугольник AFB . В треугольнике CLB острый угол равен углу φ_2 вследствие того, что $CL \perp OD$, а $CB \perp I_1$, а в треугольнике FAB острый угол также равен углу φ_2 , так как линия OD пересекает две параллельные линии AB и I_1 . Тогда

$$LB = FM = U_p \sin \varphi_2, \text{ а } AF = U_a \cos \varphi_2,$$

т. е.

$$\Delta U = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2, \quad (75)$$

Часто значения U_a и U_p даются в процентах, тогда

$$\Delta U \% = k_{\text{нг}} [(U_a \%) \cos \varphi_2 + (U_p \%) \sin \varphi_2], \quad (76)$$

где $k_{\text{нг}}$ — коэффициент нагрузки трансформатора;
 $U_a \%$ и $U_p \%$ — отношение падения напряжения соответственно на активном и индуктивном сопротивлении обмоток к номинальному напряжению, %.

Значения $U_a \%$ и $U_p \%$ можно определить, если известны величины S_n , P_K и U_K трансформатора. Так,

$$U_a \% = \frac{I_{\text{нг}} r_K}{U_n} 100.$$

Умножив числитель и знаменатель дроби на I_n , найдем, что

$$U_a \% = \frac{I_{\text{нг}}^2 r_K}{U_n I_n} 100 = \frac{P_K}{S_n} 100,$$

но поскольку P_K измеряется в ваттах (Вт), а S_n — в киловольт-амперах (кВА), то

$$U_a \% = \frac{P_K}{S_n \cdot 1000} 100 = \frac{P_K}{10 S_n}. \quad (77)$$

Зная $U_K \%$ и $U_a \%$, можно найти $U_p \%$:

$$U_p \% = \sqrt{(U_K \%)^2 - (U_a \%)^2}. \quad (78)$$

Значение $\Delta U \%$ для отечественных трансформаторов при значениях $\cos \varphi_2 = 0,8$ и $U_K = 4,5 \div 10,5 \%$ находится в пределах $4-8 \%$ U_n .

На рисунке 76, б приведены графики, отражающие зависимость изменения напряжения трансформатора ($S_n = 100$ кВА, $U_n = 6300/220$ В) от коэффициента нагрузки при различных значениях $\cos \varphi_2$. Вверх от оси абсцисс отложены значения ΔU при активной и активно-индуктивной нагрузке, а вниз — при активно-емкостной нагрузке. В случае активно-емкостной нагрузки напряжение на зажимах трансформатора при увеличении нагрузки повышается.

Пример 2. Определить $\Delta U\%$ для трансформатора мощностью $S_H = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, при $\cos \varphi_2 = 0,8$, если $U_K = 5,5\%$, $P_K = 2400 \text{ Вт}$.

Решение. Активная составляющая

$$U_a\% = \frac{P_K}{10S_H} = \frac{2400}{10 \cdot 100} = 2,4\%.$$

Реактивная составляющая

$$U_p\% = \sqrt{(U_K\%)^2 - (U_a\%)^2} = \sqrt{5,5^2 - 2,4^2} = 4,9\%.$$

Изменение напряжения

$$\Delta U\% = (U_a\%) \cos \varphi_2 + (U_p\%) \sin \varphi_2 = 2,4 \cdot 0,8 + 4,9 \cdot 0,6 = 4,85\%.$$

КАРТОЧКА № 41 (152)

Изменение вторичного напряжения трансформатора

Трансформатор работает при активной нагрузке. Как изменяется напряжение на нагрузке с увеличением тока?	Уменьшается	396
	Не изменяется	436
	Увеличивается	330
Нагрузка трансформатора имеет индуктивный характер. Как изменяется напряжение на нагрузке при увеличении тока?	Уменьшается	311
	Не изменяется	266
	Увеличивается	252
Нагрузка трансформатора имеет емкостный характер. Как изменяется напряжение на нагрузке при увеличении тока?	Уменьшается	199
	Не изменяется	175
	Увеличивается	131
При уменьшении тока от номинального до нуля напряжение трансформатора увеличивалось от 380 до 400 В. Определите изменение напряжения трансформатора, если $\cos \varphi_2 = \text{const}$	$\Delta U = 20 \text{ В}$	111
	$\Delta U = -20 \text{ В}$	91
Каков характер нагрузки трансформатора, если $\Delta U = -20 \text{ В}$ при уменьшении тока от номинального до нуля?	Активный	145
	Индуктивный	154
	Емкостной	203
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	220

Изменение вторичного напряжения трансформатора

При номинальной нагрузке на напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора 220 В. Вычислите напряжение при холостом ходе, если $\Delta U\% = 5\%$	209 В	246
	225 В	286
	231 В	310
Можно ли определить изменение вторичного напряжения ΔU , если известна упрощенная векторная диаграмма трансформатора в режиме короткого замыкания (треугольник короткого замыкания)?	Можно	350
	Нельзя	372
	Можно, если известен коэффициент мощности нагрузки	395
Из треугольника короткого замыкания найдено, что $U_a = I_{\text{к}} R_{\Sigma} = 3$ В; $U_p = I_{\text{к}} X_{\Sigma} = 6$ В. Кроме того, известно, что $\cos \varphi_2 = 0,8$. Найдите изменение вторичного напряжения трансформатора ΔU	4 В	431
	5 В	465
	6 В	494
В опыте короткого замыкания трансформатора ваттметр показал 3 кВт. Номинальная полная мощность трансформатора $S_n = 100$ кВ·А. Определите $U_a\%$	0,3%	525
	3%	556
	6%	587
Для условий предыдущей задачи определите в процентах изменение вторичного напряжения трансформатора, если известно, что $U_{\text{к}} = 5\%$, $\cos \varphi_2 = 0,8$	$\Delta U\% = 4,8\%$	618
	$\Delta U\% = 5,0\%$	649
	$\Delta U\% = 5,2\%$	666

§ 5. Коэффициент полезного действия трансформатора

Под коэффициентом полезного действия трансформатора (к. п. д.) понимают отношение отдаваемой трансформатором активной мощности P_2 к потребляемой из сети активной мощности P_1 , т. е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{или} \quad \eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100.$$

К. п. д. можно определить, измерив отдаваемую и подводимую мощности при полной нагрузке трансформатора и взяв отношение этих мощностей. Такой метод определения к. п. д. называют *прямым*. Прямой метод определения к. п. д. применения не нашел, так как он неэкономичен и недостаточно точен.

В реальных условиях к. п. д. находят косвенным методом. Известно, что с достаточной точностью потери в стали трансформатора можно определить из опыта холостого хода ($P_{ст} \approx P_0$), а потери в меди — из опыта короткого замыкания ($P_{м} \approx P_{к}$) при номинальной нагрузке трансформатора. Тогда подведенная к трансформатору мощность $P_1 = P_2 + P_{ст} + P_{м}$, а к. п. д.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{ст} + P_{м}}.$$

Мощность P_2 , отдаваемую трансформатором при любой нагрузке, можно определить по формуле

$$P_2 = k_{нг} S_{н} \cos \varphi_2,$$

где $k_{нг}$ — коэффициент нагрузки трансформатора.

Так как $P_{к}$ выражает потери в меди только при номинальной нагрузке трансформатора, то потери в меди трансформатора при любой его нагрузке

$$P_{м} = k_{нг}^2 P_{к}.$$

Коэффициент нагрузки $k_{нг}$ участвует в этой формуле во второй степени потому, что при постоянном напряжении ток изменяется пропорционально нагрузке, а потери в меди пропорциональны квадрату тока нагрузки. Тогда формула для определения к. п. д. трансформатора при любой его нагрузке примет следующий вид:

$$\eta = \frac{k_{нг} S_{н} \cos \varphi_2}{k_{нг} S_{н} \cos \varphi_2 + P_0 + k_{нг}^2 P_{к}}, \quad (79)$$

где мощность $S_{н}$ измеряется в кВА, а потери P_0 и $P_{к}$ в кВт.

Определим, при каком значении коэффициента нагрузки к. п. д. будет максимальным, т. е. найдем оптимальный коэффициент нагрузки $k_{нг. опт}$. Для этого нужно взять первую производную $\frac{d\eta}{dk_{нг}}$ от формулы (79) и приравнять ее нулю. Исследование данной функции на максимум дает следующий результат:

$$P_0 = k_{нг. опт}^2 P_{к}.$$

Значит к. п. д. трансформатора будет максимальным при такой нагрузке, когда потери в стали равны потерям в меди, т. е. постоянные потери равны переменным.

Следовательно,

$$k_{нг. опт} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{к}}}. \quad (80)$$

В современных трансформаторах $\frac{P_0}{P_{к}} \approx \frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$, значение оптимального коэффициента нагрузки $k_{нг. опт} = 0,4 \div 0,58$, а к. п. д. их очень

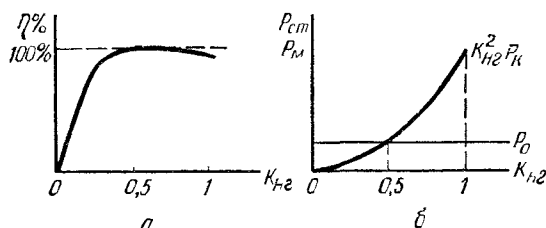


Рис. 77. Зависимость к. п. д. трансформатора от нагрузки:

а — кривая к. п. д.; б — кривые потерь в стали и меди.

высок и достигает 98—99%. Примерные кривые зависимости к. п. д. трансформатора и изменения потерь в стали и меди от коэффициента нагрузки приведены на рисунке 77, а и б.

Пример 3. Найти к. п. д. трансформатора и оптимальный коэффициент нагрузки, если $S_{II} = 240$ кВА, $P_0 = 1400$ Вт, $P_K = 4900$ Вт, $\cos \varphi_2 = 0,8$, $k_{HT} = 1$.

Решение. К. п. д. трансформатора по формуле (79)

$$\eta = \frac{1 \cdot 240 \cdot 0,8}{1 \cdot 240 \cdot 0,8 + 1,4 + 1 \cdot 4,9} \approx 0,97,$$

т. е. около 97%.

Оптимальный коэффициент нагрузки по формуле (80)

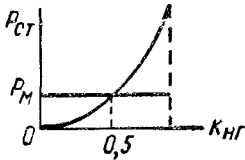
$$k_{HT, \text{ опт}} = \sqrt{\frac{1400}{4900}} \approx 0,53.$$

КАРТОЧКА № 43 (299)

Коэффициент полезного действия трансформатора

Ваттметром измерена мощность на входе и выходе трансформатора: $P_1 = 1000$ Вт, $P_2 = 980$ Вт. Определите к. п. д. трансформатора	80%	698
	98%	715
Определите к. п. д. трансформатора, если $P_2 = 970$ Вт, $P_{м} = 15$ Вт, $P_{ст} = 15$ Вт	97%	570
	98%	539
	Задача неопределенна, так как неизвестна мощность P_1	509
Как зависят от коэффициента нагрузки трансформатора а) потери в меди, б) потери в стали?	Пропорциональны квадрату k_{HT}	289
	а) пропорциональны квадрату k_{HT} ; б) не зависят от k_{HT}	267
	Не зависят от k_{HT}	225

При каком значении $k_{нг}$ к. п. д. трансформатора будет максимальным?



Чему равен к. п. д. трансформатора при холостом ходе?

	0	112
	0,5	92
	1	146
	0	155
	0,5	204
	Нескольким процентам	221

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Решение задач по трансформаторам

Цель занятия. Изучить методику определения основных параметров трансформаторов.

П л а н з а н я т и я. Вычислить коэффициент трансформации, номинальные токи в обмотках, ток холостого хода, к. п. д. и изменение напряжения $\Delta U\%$ при $\cos\varphi_2 = 0,8$ и $k_{нг} = 1$, оптимальный коэффициент загрузки, активные и индуктивные сопротивления обмоток при условии, что $r_1 = r_2$, а $x_1 = x_2$, и построить упрощенную потенциальную диаграмму при номинальной нагрузке и $\cos\varphi_2 = 1$ для трехфазных трансформаторов с такими данными:

Вариант	I	II	III
Мощность S_H , кВА	100	250	4000
Напряжение U_1, U_2 , кВ	10/0,4	10/0,4	35/10,5
Напряжение короткого замыкания U_K , %	4,5	4,5	7,5
Потери в стали P_0 , Вт	340	780	6400
Потери в меди P_K , Вт	1970	3700	33500
Ток холостого хода I_0 , %	3,5	3	1,8

П о я с н е н и е к р а б о т е. При решении задач для трехфазных трансформаторов все величины определяют для одной фазы.

В качестве примера решим задачу для первого варианта.

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{10}{0,4} = 25.$$

Номинальные токи в обмотках

$$I_{H1} = \frac{S_H}{\sqrt{3} U_{H1}} = \frac{100}{1,73 \cdot 10} \approx 5,78 \text{ А},$$

$$I_{H2} = \frac{S_H}{\sqrt{3} U_{H2}} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} \approx 145 \text{ А}.$$

Построим упрощенную потенциальную диаграмму для этого трансформатора при номинальной нагрузке и $\cos \varphi_2 = 1$. Для этого выберем направление вектора тока I_H (рис. 78), затем принимаем масштаб для вектора напряжений: $1 \text{ мм} = 50 \text{ В}$.

Определяем падения напряжения в обмотках:

$$U_a = I_H r_H = 5,78 \cdot 19,7 \approx 118 \text{ В},$$

$$U_p = I_H r_K = 5,78 \cdot 40 \approx 232 \text{ В}.$$

Откладываем векторы падений напряжения в обмотках в верхней части диаграммы: U_a — совпадающим с вектором тока, так как $\cos \varphi_2 = 1$ (вектор ce длиной 2,36 мм в масштабе напряжений) и U_p — перпендикулярным вектору тока (длина вектора av 4,7 мм в масштабе напряжений). Мы получили треугольник abc падений напряжений в обмотках. Затем радиусом 115,6 мм, что соответствует величине фазного напряжения $U_1 = 5780 \text{ В}$, из точки a делаем засечку на направлении вектора тока (точка O). Вектор Oa и представит собой в масштабе значение напряжения U_1 , а вектор Oa — напряжения U_2 .

Г л а в а XI

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Общий вид силового трансформатора, у которого для наглядности вырезана часть бака, приведен на рисунке 79. Этот рисунок позволяет составить общее впечатление о конструкции и компоновке основных элементов трансформатора, а также о конструкции трансформатора в целом. Более подробно устройство основных элементов трансформатора рассмотрено ниже.

§ 1. Магнитопровод

Стальной магнитопровод, или, как иногда его называют, сердечник, служит магнитной цепью трансформатора, по которой замыкается переменный магнитный поток, пронизывающий его обмотки.

Различают два основных типа магнитопроводов: стержневые (рис. 80, *а*) и броневые (рис. 80, *б*).

Сердечник трансформатора набирают из отдельных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм, изолированных между собой лаком или бумагой для уменьшения потерь от вихревых токов. Толщина слоя изоляции 0,04–0,06 мм.

В отечественном электромашиностроении для изготовления магнитопроводов трансформаторов применяют в основном следующие марки электротехнической стали: горячекатаная — Э41, Э42, Э43 и холоднокатаная — Э310, Э320 и Э330.

По сравнению с горячекатаной холоднокатаная сталь имеет сравнительно низкие удельные потери, большую магнитную проницаемость и меньшую хрупкость. Магнитопроводы из холоднокатаной стали допускают магнитную индукцию до 1,7 Т, в то время как магнитопроводы из горячекатаной стали — до 1,4 Т.

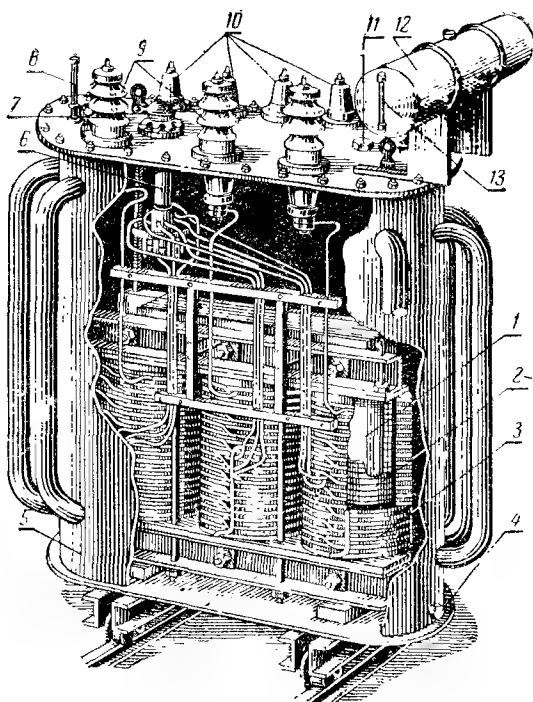


Рис. 79. Трехфазный силовой трансформатор:

1 — магнитопровод; 2 — обмотка низшего напряжения; 3 — обмотка высшего напряжения; 4 — пробка для слива масла; 5 — бак; 6 — переключатель числа витков обмотки ВН; 7 — привод переключателя; 8 — термометр; 9 — выводы высокого напряжения; 10 — выводы низкого напряжения; 11 — пробка для заливки масла; 12 — асфальт; 13 — масломерное стекло.

Для силовых трансформаторов листы сердечника собирают, как правило, впереплет, или внахлестку (рис. 81, а, б, в). При этом способе места стыков листов одного ряда перекрывают листами других рядов, что дает возможность уменьшить магнитное сопротивление стыков и, следовательно, намагничивающий ток трансформатора. При сборке впереплет весь сердечник набирают сразу, а для насадки обмоток на стержни необходимо разобрать, или «расшихтовать», верхнюю часть сердечника, которую называют *верхним ярмом*. Нижнюю часть сердечника называют *нижним ярмом*, а среднюю его часть, на которую надевают обмотки, — *стержнем*.

В некоторых случаях применяют смешанную, шихтованно-стыковую конструкцию сердечника, при которой нижнее ярмо собирают («шихтуют») со стержнями впереплет, а верхнее присоединяют к стержням встык (рис. 81, г).

При стыковой конструкции магнитопровода упрощается насадка на стержни, но недостатком ее является необходимость введения

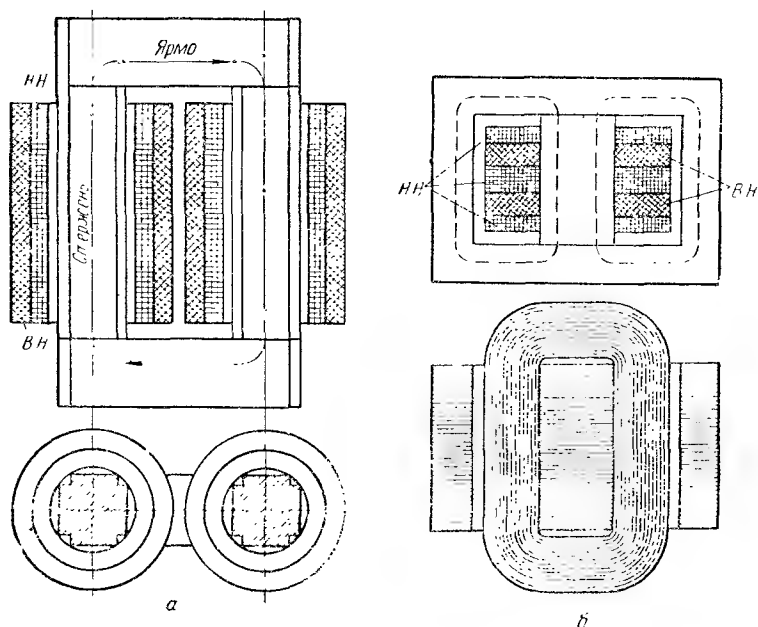


Рис. 80. Конструкция магнитопровода однофазных трансформаторов:

а — стержневой; *б* — броневой.

прокладки из изолирующего материала между верхним ярмом и стержнями. Если такой прокладки не поставить, то вследствие неточного совпадения листов ярма и стержня в сердечнике будут возникать большие вихревые токи, которые приведут к недопустимому нагреву стали трансформатора и увеличению потерь (рис. 81, *д*). Изолирующая прокладка увеличивает магнитное сопротивление магнитопровода, что ведет к увеличению намагничивающего тока.

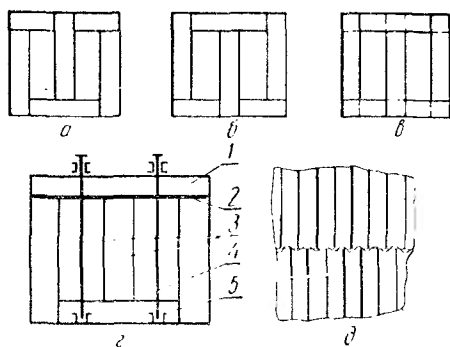


Рис. 81. Схема сборки и устройства магнитопроводов:

а, б, в — схемы шихтовки трехфазных трехстержневых магнитопроводов (*а* — нечетные слои, *б* — четные слои, *в* — перекрытие стыков); *г* — схема устройства шихтовки магнитопровода; *д* — путь замыкания вихревых токов в стыском магнитопроводе без изолирующей прокладки: 1 — верхнее ярмо; 2 — изолирующая прокладка в местах стыков; 3 — стержни; 4 — стяжные болты; 5 — нижнее ярмо.

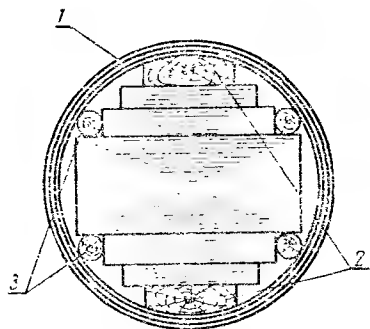


Рис. 82. Прессовка стальных листов стержней деревянными планками:

1 — изоляционный цилиндр; 2 — деревянные планки; 3 — деревянные стержни.

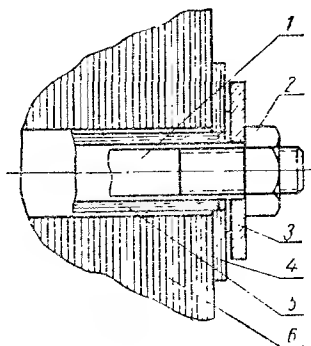


Рис. 83. Прессовка стальных листов стержней стяжными шпильками:

1 — стальная прессующая шпилька; 2 — гайка; 3 — стальная шайба; 4 — шайба из электрокартона; 5 — бумажно-бакелитовая трубка; 6 — активная сталь стержни.

Стержни у трансформаторов небольшой мощности прессуют деревянными планками 2, вбиваемыми между цилиндром 1 внутренней обмотки и стержнем магнитопровода (рис. 82). Эти планки расклинивают стержни относительно обмоток и спрессовывают их.

Стержни магнитопроводов более мощных трансформаторов прессуют стальными шпильками 1 (рис. 83), которые изолируют от стали 6 трансформаторов, надевая на них втулки из бумажно-бакелитовой трубки 5.

Ярмо прессуют ярмовыми балками, которые готовят из швеллерной стали.

Сердечник трансформатора заземляют, электрически соединяя его с баком. Заземлять магнитопровод необходимо для предотвращения появления на нем электрического потенциала, что может вызвать электрические разряды между магнитопроводом и другими частями трансформатора.

Чтобы заземлить всю активную сталь магнитопровода, достаточно заземлить две крайние пластины, так как при этом все пластины окажутся заземленными через сравнительно небольшое (для малых токов высокого потенциала) сопротивление изоляции между листами стали. С этой целью в трансформаторах малой и средней мощности вставляют одну ленту 2 между пластинами ярма 1 (рис. 84), а другую — между вертикальной частью ярмовой балки 3 и изоляционной прокладкой 4. Затем обе ленты 2 соединяют и заземляют. Магнитопровод заземляют с одной стороны во избежание появления короткозамкнутых контуров, сцепленных с магнитным потоком.

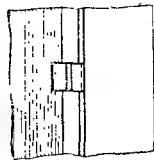
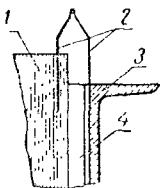


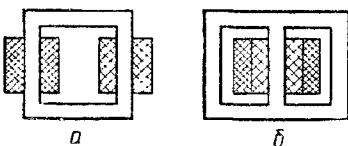
Рис. 84. Заземление магнитопровода трансформаторов малой и средней мощности:

1 — активная сталь магнитопровода; 2 — заземляющая лента; 3 — полка ярмовой балки; 4 — изоляционная прокладка

В нижней части бака сделаны опорные балки, которые в трансформаторах мощностью до 1000 кВА изготовлены из дерева, а в остальных — из стали. Стальную опорную балку изолируют от ярма прокладкой из электрокартона. На эти балки опирается сердечник трансформатора.

КАРТОЧКА № 44 (253)

Магнитопровод

Изображены трансформаторы 	а) стержневого типа; б) бронзового типа	432
	а) бронзового типа; б) стержневого типа	466
Какая сталь предпочтительнее для изготовления сердечников трансформаторов (без учета ее стоимости)?	Холоднокатаная	588
	Горячекатаная	619
В сердечниках из а) холоднокатаной и б) горячекатаной стали создана магнитная индукция 1,6 Т. Размеры сердечников и числа витков обмоток одинаковы. В какой обмотке течет больший ток?	В обмотке, намотанной на сердечник а	650
	В обмотке, намотанной на сердечник б	667
	В обеих обмотках протекают одинаковые токи	699
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	716
С какой целью заземляют магнитопровод трансформатора?	Чтобы предохранить обмотки трансформатора от короткого замыкания	448
	Чтобы выравнивать потенциалы основных частей трансформатора	415
К чему крепится сердечник трансформатора?	К дну бака	376
	К опорным балкам	351

§ 2. Обмотки

В современных силовых трансформаторах применяют следующие основные типы концентрических обмоток: а) цилиндрическую, б) винтовую, в) непрерывную.

Обмотки выполняют из круглого (сечением до 10 мм²) и прямоугольного (сечением от 6 до 60 мм²) медного провода с хлопчатобумаж-

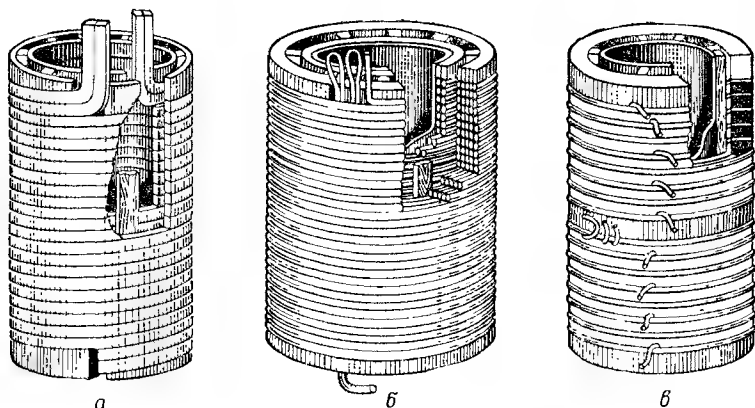


Рис. 85. Обмотки трансформаторов:

a — цилиндрическая двухслойная; *б* — цилиндрическая многослойная; *в* — катушечная многослойная.

ной изоляцией. В последнее время в трансформаторах типа ТСМА обмотки делают из алюминиевого провода.

Обмотки пропитывают глифталевым лаком и подвергают термической обработке — «запекают».

Плотность тока в обмотках трансформаторов с масляным охлаждением составляет от 2 до 4,5 А/мм², а в трансформаторах с воздушным охлаждением (сухих) — от 1 до 2,5 А/мм².

Простейшая форма концентрической обмотки — цилиндрическая, выполняемая в виде катушки из прямоугольного или круглого медного провода, который размещен по винтовой линии. Каждый виток слоя уложен вплотную к соседнему. В качестве обмоток низкого напряжения трансформаторов небольших мощностей используют *цилиндрическую двухслойную обмотку* с вертикальным каналом между слоями (рис. 85, *a*). Для обмоток высокого напряжения более мощных трансформаторов напряжением 6, 10 и 35 кВ применяют *цилиндрическую многослойную обмотку*, которую выполняют из круглого провода на жестком бумажно-бакелитовом цилиндре. Слои обмоток разделяются на две части вертикальным масляным каналом (рис. 85, *б*).

Обмотки высокого напряжения делают также в виде *катушечной многослойной обмотки* (рис. 85, *в*).

Винтовые обмотки применяют для обмоток низкого напряжения трансформаторов средней и большой мощности. Такую обмотку наматывают на изоляционный цилиндр. Между цилиндром и витками обмотки устанавливают рейки, на которых закрепляют электрокартонные прокладки, образующие масляные каналы для охлаждения (см. рис. 79). Каждый виток винтовой обмотки состоит из ряда параллельных проводов прямоугольного сечения. Эти провода, составляющие виток, располагают в плоскости, перпендикулярной оси катушки.

В трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше в качестве обмоток высокого и низкого напряжения используют непрерывную обмотку, которая отличается от винтовой тем, что состоит из ряда плоских катушек-дисков, отделенных друг от друга каналами.

КАРТОЧКА № 45 (244)

Обмотки

Какую форму имеет поперечное сечение провода обмотки трансформатора, если площадь сечения равна а) 5 мм ² ; б) 50 мм ² ?	Круглую	331
	а) круглую; б) прямоугольную	290
	а) прямоугольную; б) круглую	719
Какие материалы используются для изготовления проводов обмоток силовых трансформаторов?	Медь, алюминий	226
	Медь, сталь	201
	Серебро, алюминий	177
Почему плотность тока в обмотках трансформаторов с масляным охлаждением выше, чем в обмотках «сухих» трансформаторов?	Потому что надежнее изоляция витков	133
	Потому что лучше условия охлаждения	113
На сердечнике трансформатора размещены а) цилиндрическая двухслойная и б) многослойная обмотки. Какая обмотка низкого, а какая высокого напряжения?	а) низкого; б) высокого	93
	а) высокого; б) низкого	157
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	156
Зачем между слоями витков обмотки оставляют промежутки (вертикальные каналы)?	Для удобства осмотра и ремонта	198
	Для лучшего охлаждения	222

§ 3. Бак

В современных силовых трансформаторах сердечник с обмоткой, или выемную часть, помещают в бак с трансформаторным маслом. В трансформатор заливают минеральное масло, которое улучшает охлаждение трансформатора и изолирует обмотки. Для лучшего охлаждения масла в трансформаторах мощностью 40 кВА и более баки изготовляют трубчатые (см. рис. 79), ребристые или с масляными радиаторами, благодаря чему увеличивается поверхность охлаждения.

Во время работы трансформатора масло, нагреваясь от обмоток, совершает циркуляцию и, проходя по трубам или радиаторам, охлаждается.

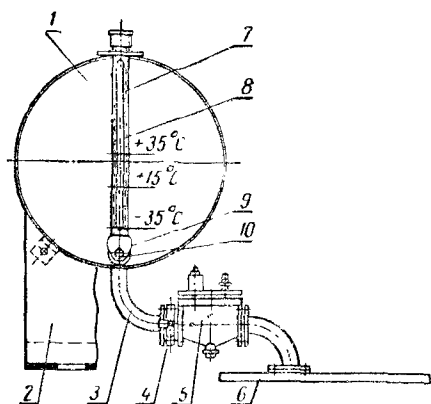


Рис. 86. Расширитель:

1 — корпус; 2 — опорная пластинка; 3 — трубопровод; 4 — плоский клапан; 5 — газовое реле; 6 — крышка бака трансформатора; 7 — маслоуказатель; 8 — стекло маслоуказателя; 9 — нижнее колено маслоуказателя; 10 — запорный болт.

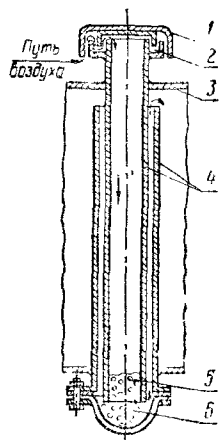


Рис. 87. Силикагелевый воздухоосушитель:

1 — колпак; 2 — масляный затвор; 3 — бачок расширителя; 4 — корпус воздухоосушителя; 5 — гранулированный силикагель; 6 — индикаторный силикагель.

Баки трансформаторов изготовляют из листовой стали. В нижней части бака 5 имеется пробка 4 для спуска масла и отбора его пробы, там же приварена пластина с болтом заземления. Для подъема трансформатора к стенке бака у верхней рамы приваривают четыре крюка.

Крышку бака изготовляют из листовой стали и притягивают к верхней раме бака болтами. Между баком и крышкой с целью предотвращения утечки масла вводят прокладку из маслоупорной резины.

На крышке бака устанавливают расширитель 12, который представляет собой бачок цилиндрической формы, изготовленный из листовой стали. Его укрепляют на кронштейнах и соединяют трубкой с баком трансформатора.

Расширитель, в который из бака поступает избыток масла, расширившегося при нагревании, уменьшает поверхность соприкосновения с воздухом масла, находящегося в баке, защищая тем самым масло от увлажнения и окисления. Конструкция расширителя показана на рисунке 86.

У трансформаторов серий ТМА, ТСМ и ТСМА в расширителе устанавливают силикагелевый воздухоосушитель (рис. 87). Воздух, поступающий в расширитель, частично очищается и осушается в масляном затворе 2, а затем проходит через силикагель 5, который адсорбирует влагу. Для непрерывной очистки масла от продуктов старения в трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше устанавливают термосифонный силикагелевый фильтр, проходя через который масло подвергается непрерывной регенерации.

Изготавливают также закрытые (герметизированные) трансформаторы (ТМЗ), не имеющие расширителя. При такой конструкции трансформаторное масло не сообщается с внешней средой. Для теплового расширения масла во время работы трансформатора в верхней части бака есть пространство, заполненное азотом, куда поступает масло при повышении температуры.

У трансформаторов мощностью 1000 кВА и выше в трубопроводе расширителя устанавливают газовое реле, которое предназначено для сигнализации и отключения трансформаторов при внутренних повреждениях в них, вызывающих выделение газов, или при понижении уровня масла в трансформаторе ниже предельного.

Маслоуказатель — стеклянная трубка в металлической оправе — установлен на плоской стенке расширителя или на стенке баков трансформаторов, не имеющих расширителя. Возле маслоуказателя нанесены три метки, соответствующие уровням масла при температурах $+35^{\circ}$, $+15^{\circ}$ и -35°C . Нижнее колено маслоуказателя снабжено запорным болтом 10 (см. рис. 86), поворачивая который перекрывают доступ масла в стеклянную трубку, что необходимо при смене или очистке маслоуказательного стекла.

В нижней части расширителя имеется пробка для спуска осадков или грязевик со спускной пробкой. В верхней пробке сделано отверстие для входа и выхода воздуха из расширителя при изменении объема содержащегося в нем масла.

На крышках баков трансформаторов, имеющих расширитель, устанавливают (см. рис. 79) вводы 9 и 10, рукоятку 7 переключателя, термометр 8 и другую арматуру для заливки, сушки и очистки масла.

КАРТОЧКА № 46 (188)

Бак

Расположите следующие трансформаторы в порядке увеличения их мощности, если а) бак трансформатора имеет гладкую поверхность; б) бак трансформатора имеет ребристую поверхность; в) бак трансформатора имеет трубчатый радиатор	а, б, в	248
	в, б, а	288
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	312
Можно ли прокладку между баком и крышкой трансформатора изготовить из обычной резины?	Можно	352
	Нельзя	374
Можно ли расширитель трансформатора полностью залить маслом?	Можно	397
	Нельзя	433
	Расширитель всегда должен быть свободен от масла	467

Как определить уровень масла в баке трансформатора?	Снять крышку и замерить уровень масла щупом	495
	При помощи стеклянной трубки	526
Каким газом заполняют верхнюю часть бака герметизированного трансформатора?	Воздухом	44
	Азотом	7

На крышках баков трансформаторов, не имеющих расширителей, вводы не устанавливают, их в этом случае ставят на стенке бака.

§ 4. Вводы

Для вывода концов обмоток из трансформатора служат вводы — фарфоровые проходные изоляторы, внутри которых проходит токоведущий медный стержень, изготовленный в виде круглой медной шпильки. Конструкция типичного трансформаторного ввода показана на рисунке 88.

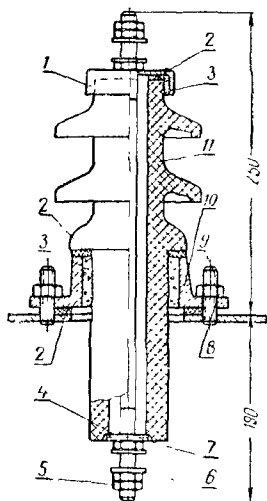


Рис. 88. Ввод 6—10 кВ, 400 А для трансформаторов наружной установки:

1 — стальной или чугунный collar; 2 — резиновая шайба; 3 — магнитосортный элемент; 4 — шайба из электрокартона; 5 — латунная гайка; 6 — медная шпилька; 7 — стальная шайба; 8 — стальная гайка; 9 — стальная шпилька; 10 — чугунный фланец; 11 — изолятор фарфоровый.

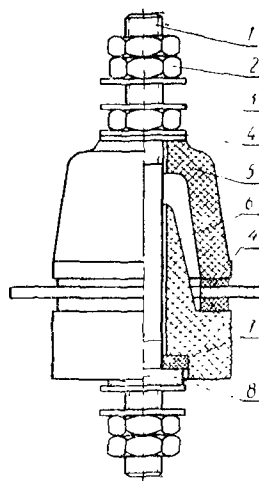


Рис. 89. Составной трансформаторный ввод на 230—525 В, 600 А:

1 — медная шпилька; 2 — латунная гайка; 3 — медная шпилька; 4 — шайба из электрокартона; 5, 6 — фарфоровые изоляторы; 7 — резиновая шайба; 8 — стальная квадратная гайка.

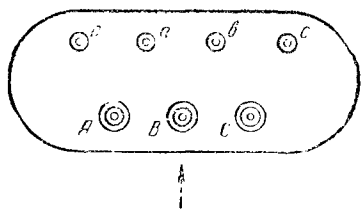


Рис. 90. Расположение вводов на крышке бака трансформатора.

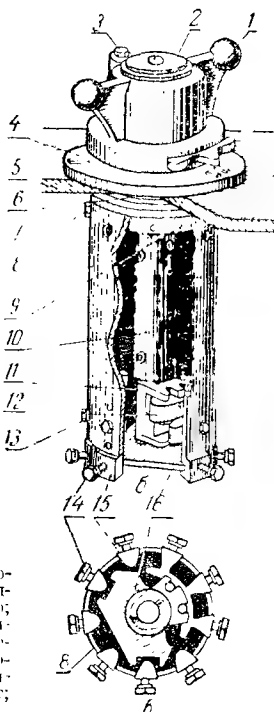
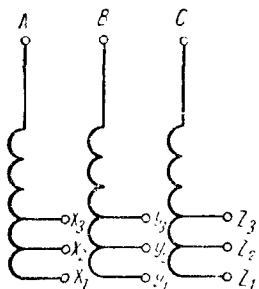
который устанавливают на кольцевой выступ ввода и притягивают шпильками к крышке; такие вводы применяют для трансформаторов внутренней установки мощностью 100 кВА и более;

в) составной фарфоровый ввод закрепляют на крышке или стенке бака без шпилек и фланцев (рис. 89). Фарфоровые части ввода стягивают на крышке, заворачивая гайки на токоведущем стержне.

У трехфазного силового трансформатора вводы высшего напряжения на баке маркируют заглавными буквами *A, B* и *C* слева направо, если стать лицом к баку со стороны высшего напряжения. Вводы низшего напряжения маркируют строчными буквами *a, b* и *c* также слева направо, если смотреть со стороны высшего напряжения. Ввод нейтрали располагают левее ввода *a* и маркируют знаком 0 (рис. 90).

Рис. 91. Трехфазный «нулевой» переключатель типа ТНСУ-9-120/10:

a — схема трансформатора с регулировочными ответвлениями вблизи нулевой точки; *б* — общий вид переключателя; *в* — вид снизу; 1 — рукоятка привода; 2 — дюралюминевая дощечка; 3 — статорный болт; 4 — фланец кепшача; 5 — крышка бака трансформатора; 6 — резиновое уплотняющее кольцо; 7 — болт с запятой шайбой; 8 — бумажно-Сай-ситовый цилиндр; 9 — чугунный фланец цилиндра; 10 — бумажно-бакелитовая изоляционная часть ядра переключателя; 11 — колесный вал; 12 — контактный сегмент; 13 — болт с пружинной шайбой; 14 — контактный болт; 15 — неподвижный контакт; 16 — гетинаксовая центрирующая пластина.



§ 5. Переключатели

Переключатель предназначен для регулирования коэффициента трансформации в пределах $\pm 5\%$ изменением числа витков обмотки высшего напряжения. Переключатели делают на стороне высшего напряжения, так как здесь токи в обмотках трансформатора меньше и поэтому легче добиться хорошего скользящего контакта. У трансформаторов небольшой мощности применяют схему, приведенную на рисунке 91, а, в которой переключатель устанавливают около нулевой точки. Как видно из схемы, полное число витков соответствует буквам с индексом 1 (X_1 , Y_1 и Z_1). Конструкция такого переключателя изображена на рисунке 91, б.

Оборотную схему с ответвлениями близ нулевой точки применяют в непрерывных обмотках трансформаторов мощностью до 1000 кВА и напряжением до 10 кВ (рис 92). В трансформаторах мощностью свыше 1000 кВА и напряжением 35 кВ применяют прямую схему с регулировочными ответвлениями посредине обмотки (рис. 93, а). Переключатель этих трансформаторов состоит из трех элементов, расположенных на одной общей оси один над другим. Схематически устройство такого переключателя изображено на ри-

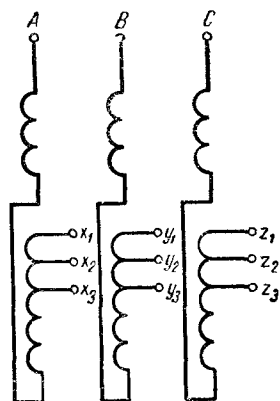


Рис. 92. Оборотная схема обмотки трансформатора с регулировочными ответвлениями близ нулевой точки.

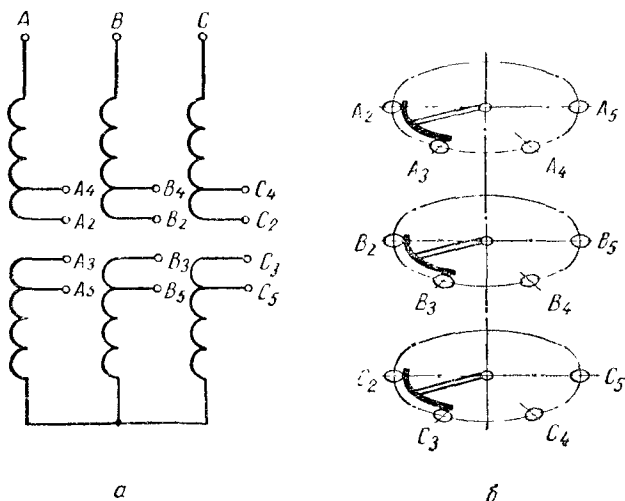


Рис. 93. Прямая схема обмотки с регулировочными ответвлениями в ее середине:

а — схема обмотки; б — схема контактной системы переключателя.

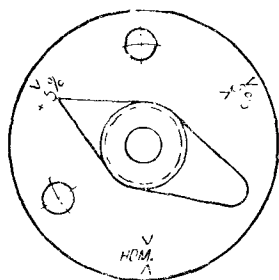


Рис. 94. Вид сверху на рукоятку привода переключателя ответвлений обмотки трансформатора.

сунке 93, б. Переключатель в каждой фазе замыкает пару контактов. В первом положении замкнуты контакты A_2A_3 , B_2B_3 и C_2C_3 : в этом случае выключены все витки обмотки; во втором положении замкнуты контакты A_3A_4 , B_3B_4 и C_3C_4 : 5% витков отключено; в третьем положении замкнуты контакты A_4A_5 , B_4B_5 и C_4C_5 : еще 5% витков выведено.

При переключении с одной ступени на другую поворачивают рукоятку переключателя, расположенную на крышке бака трансформатора, предварительно отключив трансформатор от сети как со стороны высшего, так и со стороны низшего напряжения.

Рукоятка привода переключателя закрыта колпаком. Указатель рукоятки (рис. 94) может быть установлен против знаков «+ 5%», «НОМ.» и «- 5%», что соответственно означает: включены все витки обмотки, отключено 5% витков, выведено еще 5% витков. Иногда вместо этих знаков пишут цифры: I — соответствует знаку +5%, II — соответствует надписи «НОМ.», III — соответствует знаку -5%.

Необходимо отметить, что, согласно ГОСТ 12022—66 и 11920—66, трансформаторы мощностью от 25 до 6300 кВА выполняются с отводами, переключаемыми вручную, для изменения напряжения в пределах $\pm 5\%$, ступенями по 2,5%.

КАРТОЧКА № 47 (245)

Вводы. Переключатели

У каких трансформаторов фарфоровый ввод прижимается к крышке бака фланцем без промазки магнезитовым цементом?	Наружной установки	717
	Внутренней установки	683
Изображены трансформаторные вводы. Где расположены вводы А и В?	Слева сверху и внизу	540
	Справа сверху и внизу	510
	Слева сверху и справа внизу	480
	Слева внизу и справа сверху	449
	для регулирования входного напряжения трансформатора	332
Трансформаторный переключатель предназначен	для регулирования коэффициента трансформации	291
	для регулирования высшего напряжения трансформатора	268



За счет чего изменяется коэффициент трансформации, если переключатель установлен вблизи нулевой точки?	За счет изменения числа витков обмотки высшего напряжения	227
	За счет изменения числа витков обмотки низшего напряжения	202
	За счет изменения числа витков обмоток высшего и низшего напряжений	178
За счет чего изменяется коэффициент трансформации, если регулировочные ответвления сделаны в середине обмотки?	За счет изменения числа витков обмотки высшего напряжения	134
	За счет изменения числа витков обмотки низшего напряжения	114
	За счет изменения числа витков обмоток высшего и низшего напряжений	94

§ 6. Вспомогательная аппаратура для обслуживания и защиты трансформаторов

Выхлопная труба предохраняет бак от повреждений при значительных давлениях газов внутри бака, возникающих при интенсивном разложении масла во время повреждений внутри трансформатора (например, короткого замыкания). Ее устанавливают на трансформаторах мощностью 1000 кВА и более.

Выхлопная труба представляет собой цилиндр из листовой стали, устанавливаемый на крышке бака и сообщающийся с ним через отверстие в крышке бака. Верхний конец выхлопной трубы закрыт стеклянной мембраной толщиной 2,5 мм. При повышении давления в баке стеклянная мембрана лопается и масло и газы выбрасываются наружу.

Термометры. Для измерения температуры верхних слоев масла на трансформаторах мощностью до 630 кВА устанавливают стеклянные ртутные термометры, а на трансформаторах мощностью 1000 кВА и более — термометрические сигнализаторы.

Стеклянный ртутный термометр снабжен шкалой, проградуированной до 150° С. Нижнюю часть термометра вставляют в гильзу с заваренным доннышком, которую устанавливают в отверстие в крышке трансформатора и крепят при помощи приваренного к гильзе фланца (рис. 95). В гильзу заливают трансформаторное масло, чтобы улучшить теплоотдачу от масла в баке к термометру. Часть термометра, выступающая над крышкой, защищена стальным тонкостенным цилиндром с прорезями, через которые наблюдают за показаниями термометра.

Термометрический сигнализатор, шкала которого проградуирована от 0 до 100° С, предназначен не только для измерения, но и для сигнализации при перегревах трансформатора (рис. 96).

Такой сигнализатор представляет собой герметически закрытую термосистему, состоящую из термобаллона 5, соединительного капилляра 4 длиной от 1 до 12 м и корпуса 1 прибора с манометрической пружиной, шкалой и контактной системой.

При повышении температуры масла поднимается давление паров хлорметила, находящегося в термобаллоне, которое передается по капилляру манометрической пружине, вследствие чего стрелка 6 прибора отклоняется. С осью стрелки жестко связана контактная щеточка, скользящая по двум секторам с контактами. Один из секторов связан с желтым 2, а другой — с красным передвижным 3 указателем.

Желтый указатель устанавливают на более низкую предельную допустимую температуру масла, при достижении которой подается сигнал. При дальнейшем повышении температуры трансформатора и достижении опасной для трансформатора температуры масла, соответствующей красному указателю, происходит замыкание контакта, действующего на цепь реле, которое отключает трансформатор.

Термобаллон термосигнализатора ввинчивают в гильзу, укрепленную в отверстии крышки бака трансформатора. Прибор термосигнализатора прикрепляют к баку трансформатора на высоте 1,5 м от пола.

Пробивной предохранитель.

Пробивной предохранитель устанавливают на трансформаторах с линейным напряжением 230 и 525 В, если нейтраль трансформатора не заземлена наглухо.

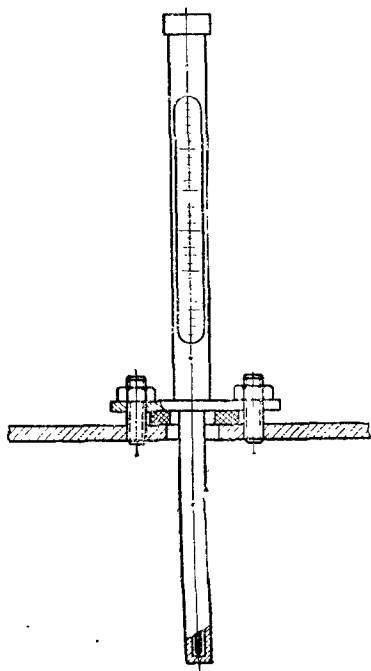


Рис. 95. Установка ртутного термометра на крышке бака трансформаторов.

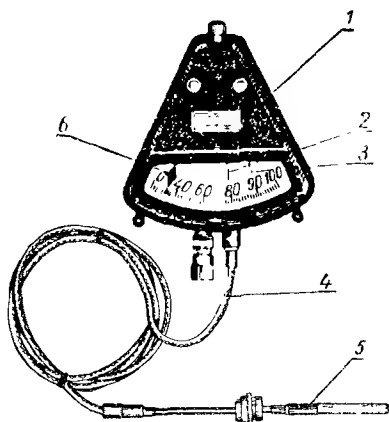


Рис. 96. Термометрический сигнализатор:

1 — корпус; 2 — желтый передвижной указатель; 3 — красный передвижной указатель; 4 — капилляр; 5 — термобаллон; 6 — указательная стрелка.

Предохранитель защищает сеть низкого напряжения от появления в ней большого напряжения при пробое обмотки высшего напряжения на обмотку низшего напряжения трансформатора.

Пробивной предохранитель (рис. 97, а и б) состоит из фарфорового корпуса 6 и головки 3. В корпусе предохранителя имеются два контакта, один из них соединяют с обмоткой низкого напряжения, а другой — с баком. В корпус ввинчивают фарфоровую головку также с двумя контактами, которые разделены слюдяной пластинкой 4 с отверстиями. Один контакт головки касается контакта корпуса, соединенного с обмоткой, а другой — контакта корпуса, соединенного с баком, т. е. заземленного.

КАРТОЧКА № 48 (263)

Вспомогательная аппаратура для обслуживания и защиты трансформаторов

Зачем на трансформаторах большой мощности (1000 кВА и более) устанавливается выхлопная труба?	Для поддержания в баке атмосферного давления	313
	Для предохранения бака от разрыва при коротких замыканиях обмоток	353
Для измерения температуры масла в баке используется ртутный термометр, который	непосредственно соприкасается с маслом, залитым в бак	375
	отделен от масла, залитого в бак металлической гильзой	398
Что произойдет, если стрелка термометрического сигнализатора достигнет желтого передвижного указателя?	Раздастся сигнал тревоги	434
	Реле отключит трансформатор от сети	463
Что произойдет, если стрелка термометрического сигнализатора достигнет красного передвижного указателя?	Раздастся сигнал тревоги	496
	Реле отключит трансформатор от сети	527
	Термометрический сигнализатор выйдет из строя	558
Что произошло с трансформатором, если пробивной предохранитель пробил?	Обмотка высокого напряжения замкнулась на бак	590
	Обмотка низкого напряжения замкнулась на бак	621
	Обмотка высокого напряжения замкнулась на обмотку низкого напряжения	651

При появлении высокого напряжения на обмотке низшего напряжения происходит пробой воздушных промежутков в слюдяной пластинке и замыкание обмотки низшего напряжения на землю. Это

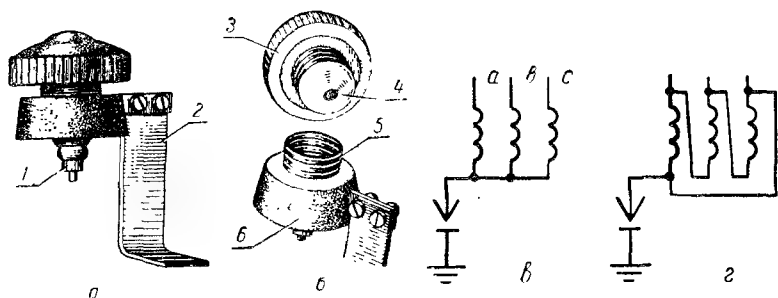


Рис. 97. Пробивной предохранитель:

а — общий вид; б — общий вид с выкрученной головкой; в — схема включения предохранителя при соединении обмоток в звезду; г — схема включения предохранителя при соединении обмоток в треугольник; 1 — центральный контакт; 2 — установочная скоба; 3 — фарфоровый головка; 4 — слюдяная пластинка с отверстиями; 5 — основной контакт; 6 — фарфоровый корпус.

устраняет опасность появления высокого напряжения в низковольтной сети.

Предохранитель устанавливают на крышке трансформатора или стенке бака рядом с вводами низкого напряжения.

При соединении обмотки низкого напряжения в звезду с выведенной нулевой точкой (рис. 97, в) предохранитель присоединяют к нулевому вводу, а при соединении обмотки низкого напряжения в треугольник (рис. 97, г) — к одному из линейных вводов, т. е. к одной из вершин треугольника.

§ 7. Новые типы трансформаторов

С 1 января 1967 г. введены новые ГОСТы на силовые трансформаторы. Новыми ГОСТами предусматривается, в частности, шкала мощностей (в кВА) трехфазных силовых трансформаторов, часть которой можно привести: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300 кВА и т. д.

Силовые трансформаторы мощностью 25 и 40 кВА выпускаются на напряжения 6; 10/0,23; 0,4 кВ, мощностью 63 кВА — на напряжения 6; 10; 20/0,23; 0,4 кВ, мощностью от 160 до 630 кВА — 6; 10; 20; 35/0,23; 0,4; 0,69 кВ (трансформаторы мощностью 630 кВА могут быть изготовлены также с обмотками высшего напряжения на 3,15 и 11 кВ), мощностью от 1000 до 6300 кВА — на напряжения 6; 10; 20; 35/0,4; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5 кВ.

Трансформаторы выпускаются как с переключением ответвлений для регулирования напряжения без нагрузки, после отключения всех обмоток трансформатора от сети, т. е. с переключением ответвлений обмоток трансформатора без возбуждения (условное обозначение — ПБВ), так и с переключением ответвлений под нагрузкой (условное обозначение — РПН).

Предусматривается выпуск трансформаторов, снабженных устройствами РПН, начиная с мощности 63 кВА.

Напряжение короткого замыкания трансформаторов мощностью от 25 до 630 кВА составляет от 4,5 до 6,8%, а ток холостого хода — от 2 до 3,2% номинального.

Для трансформаторов мощностью от 1000 до 6300 кВА напряжение короткого замыкания находится в пределах от 5,5 до 7,5%, ток холостого хода — в пределах от 0,8 до 1,5% номинального.

КАРТОЧКА № 49 (242)

Новые типы трансформаторов

Обмотка трансформатора рассчитана на напряжение 690 В. Какая это обмотка?	Высшего напряжения	668
	Низшего напряжения	700
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	718
Номинальные напряжения обмоток трансформатора 10 и 0,4 кВ. Определите коэффициент трансформации	25	684
	2,5	635
Мощность понижающего трансформатора 25 кВА. Напряжение обмоток 10/0,4 кВ. Определите напряжение короткого замыкания	18 В	603
	450 В	571
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	541
Определите величину тока холостого хода для трансформатора, рассмотренного в предыдущем вопросе, если ток холостого хода составляет 3% номинального тока	2,5 А	511
	0,075 А	481
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	450
Чем отличаются друг от друга силовые трансформаторы типа ТСМ и ТСМА?	Способом охлаждения	416
	Материалом проводов обмоток	406

Глава XII

ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И РАБОТА ИХ ПОД НАГРУЗКОЙ

§ 1. Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов

В отечественных трансформаторах приняты следующие основные схемы соединения обмоток: звезда, треугольник и зигзаг.

При соединении обмоток в з в е з д у, которое обозначают знаком Υ , концы обмоток сводят в одну точку, а начала присоединяют

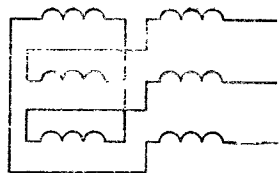


Рис. 98. Соединение обмоток трансформаторов в зигзаг.

к выводам. При соединении обмоток в треугольник, которое обозначают знаком Δ , начало первой фазной обмотки присоединяют к концу второй, начало второй — к концу третьей, начало третьей — к концу первой, а вершины образовавшегося треугольника — к выводам. Схема соединения зигзаг, при которой вторичная обмотка каждой фазы разделена пополам и расположена на двух отдельных стержнях,

представлена на рисунке 98. Условное обозначение этой схемы Σ .

Схемы соединений обмоток трехфазных трансформаторов, принятые в СССР, приведены на рисунке 99. В условном обозначении над чертой показано соединение обмоток высшего напряжения, под чертой — низшего напряжения, черточкой — выведенная нулевая точка, а цифра обозначает группу соединений обмоток.

Начала фазных обмоток высшего напряжения маркируют буквами A, B, C , а концы их — буквами X, Y, Z . Начала и концы обмоток низшего напряжения обозначают соответственно буквами a, b, c и x, y, z .

При включении трансформаторов на параллельную работу большое значение имеет способ соединения обмоток трансформатора, который определяется группой соединения. Цифрой обозначают угол между векторами линейных напряжений обмоток высшего и низшего напряжений, отсчитанный в единицах углового смещения по часовой стрелке от вектора линейного напряжения обмотки высшего напряжения. За единицу углового смещения принят угол в 30° .

Необходимо отметить, что понятия начала и конца обмоток условны, но они необходимы для правильного соединения обмоток. Первичная и вторичная обмотки намотаны на одном стержне и пронизываются одним и тем же магнитным потоком. Если обе обмотки намотаны в одну и ту же сторону и верхние зажимы обмоток принять за их начала, а нижние — за концы, то э. д. с., индуцируемые в обмотках, направлены в одну сторону, например (рис. 100, а) в данный момент от конца к началу, т. е. э. д. с. направлены согласно и совпадают по фазе.

Если обмотки намотаны в разные стороны, а обозначение зажимов осталось прежним (рис. 100, б), то векторы э. д. с. направлены навстречу друг другу. Встречно направлены векторы э. д. с. и в том случае, если обмотки намотаны в одну сторону, а обозначения зажимов изменены (рис. 100, в).

Рассмотрим методику построения векторных диаграмм для определения группы соединения обмоток трансформаторов. При построении векторных диаграмм исходят из следующих соображений:

а) векторы фазных напряжений обмоток высшего и низшего напряжений одной фазы всегда параллельны, так как индуцируются одним и тем же магнитным потоком и могут быть направлены согласно

Схемы соединения обмоток		Диаграмма векторов э.д.с.		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	

Рис. 99. Схемы соединений обмоток трехфазных трансформаторов, принятые в СССР.

или встречно, в зависимости от способа выполнения обмотки и обозначения зажимов;

б) если на схеме концы обмоток соединены в одной точке, то и на векторной диаграмме соответствующие точки векторов фазных напряжений, обозначенных теми же буквами, также соединены вместе.

Построим векторную диаграмму напряжений для группы соединения обмоток $Y/Y - 0$.

Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений обмотки высшего напряжения, подключенной в данном случае к сети, определяется напряжением сети (рис. 101, а). Построим векторную диаграмму напряжений для обмотки низшего напряжения и определим группу соединений обмоток.

Поскольку векторы фазных напряжений обмоток параллельны и направлены согласно, то вектор x_a фазного напряжения фазы a проводим параллельно вектору фазного напряжения X_A фазы A .

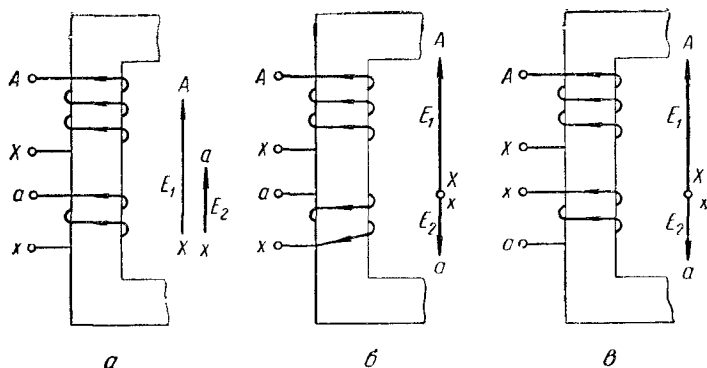


Рис. 100. Направление векторов э. д. с. в зависимости от способа намотки обмоток и обозначения зажимов:

a — э. д. с. направлены согласно; *б* — обмотки намотаны в разные стороны, э. д. с. направлены встречно; *в* — изменено обозначение зажимов, э. д. с. направлены встречно.

Так как на схеме точки *x*, *y*, *z* соединены вместе, то и соответствующие точки векторов будут соединены в одной точке.

Проводим из точки *x* вектор фазного напряжения *уv* параллельно вектору *УВ* и затем из той же точки вектор *zc* параллельно вектору *ZC*. Соединяя точки *a*, *в*, *с*, получаем векторы линейных напряжений вторичной обмотки.

Для определения группы соединения обмоток перенесем параллельно самому себе вектор линейного напряжения *ав* к вектору линейного напряжения *AB* так, чтобы точки *A* и *a* совпали. Как видно из рисунка, угол между векторами равен 360° , или $360 : 30 = 12$ единицам углового смещения, т. е. группа соединений обмоток 0.

При встречном направлении векторов э. д. с. получим группу $\Upsilon/\Upsilon - 6$. На рисунке 101, б показана группа $\Upsilon/\Upsilon - 6$.

Построим векторную диаграмму для группы $\Upsilon/\Delta - 11$.

Векторная диаграмма напряжений обмотки высшего напряжения определяется напряжением сети (рис. 101, в). Строим векторную диаграмму для обмотки низшего напряжения. Вектор *xa* проводим параллельно вектору *XA*. Так как на схеме точки *a* и *y* соединены вместе, то и на векторной диаграмме точки векторов *a* и *y* объединены. Из точки *a* проводим вектор *уv* параллельно вектору *УВ*. Так как на схеме точки *в* и *z* соединены вместе, то из точки *в* проводим вектор *zc* параллельно вектору *ZC*.

В результате построения получили треугольник *авс* фазных и линейных напряжений обмотки низшего напряжения. Для определения группы соединения переносим параллельно самому себе вектор линейного напряжения *ав* к вектору линейного напряжения *AB* так, чтобы точки *A* и *a* совпали. Угол между векторами линейных напряжений, отсчитанный по часовой стрелке от вектора линейного напряжения обмотки высшего напряжения, равен 330° , или $330 :$

: 30 = 11 единицам углового смещения, т. е. группа соединения обмоток 11.

Если векторы э. д. с. обеих обмоток направлены встречно, то группа соединения обмоток 5 (рис. 101, г).

Методику определения угла сдвига между векторами линейных напряжений легко пояснить, используя циферблат часов. Вектор

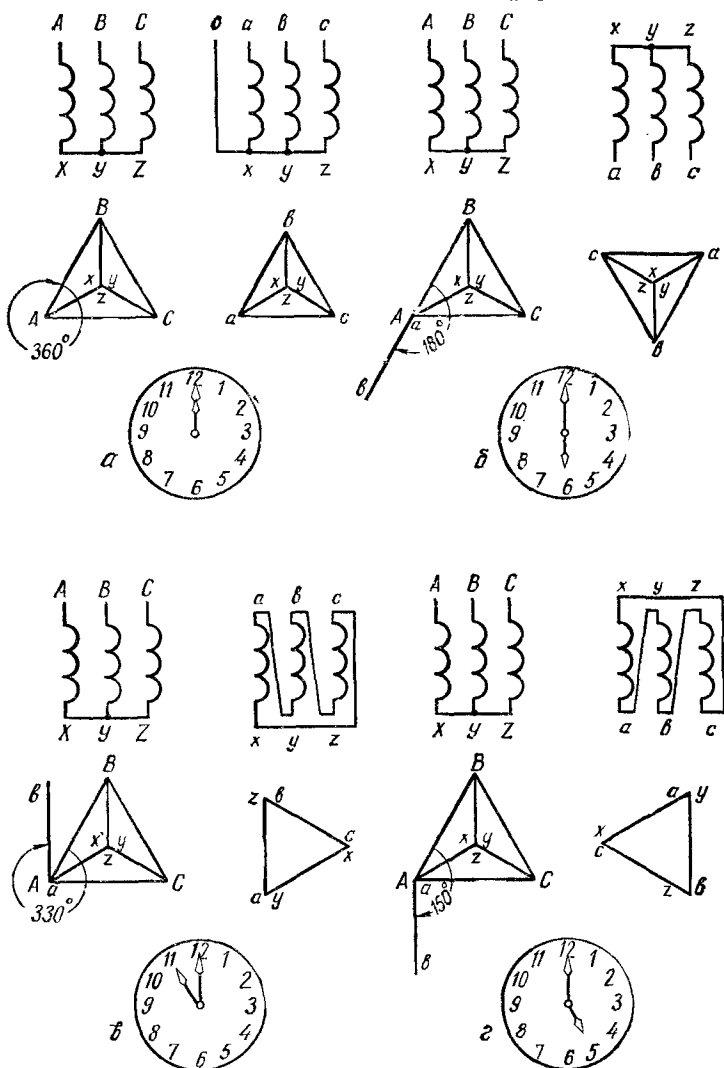
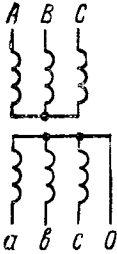
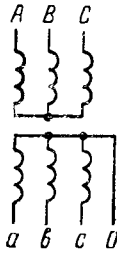


Рис. 101. Определение групп соединений обмоток трансформатора при помощи векторных диаграмм:

а — группа соединений Y/Y — 0; б — группа соединений Y/Y — 6;

в — группа соединений Y/Δ — 11; г — группа соединений Y/Δ — 5.

Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов

Покажите условное обозначение этого трансформатора 	Y/Y	733
Укажите группу соединений обмоток трансформатора, если фазные обмотки на каждом стержне намотаны встречно 	$Y/Y - 0$	1243
	$Y/Y - 6$	938
	$Y/Y - 0$	1089
Определите группу соединений обмоток трансформатора, изображенного выше, если фазные обмотки на каждом стержне намотаны согласно	$Y/Y - 6$	772
	$Y/Y - 5$	1260
Обмотки трансформатора соединены по схеме Y/Δ. Фазные обмотки на каждом стержне намотаны встречно.	5	954
	6	1105
	11	987
Обмотки трансформатора соединены по схеме Δ/Δ. Фазные обмотки на каждом стержне намотаны согласно.	0	805
	5	1292

Определите группу соединений обмоток

линейного напряжения обмотки высшего напряжения принимают за минутную стрелку и устанавливают на цифру 12, а вектор линейного напряжения обмотки низшего напряжения принимают за часовую стрелку и устанавливают на цифру, соответствующую положению этого вектора на векторной диаграмме. Цифра, на которую

указывает часовая стрелка, определяет группу соединений обмоток трансформатора. При соединении обмоток $\text{Y/Y} - 0$ обе стрелки будут установлены на цифре 12, а при соединении обмоток $\text{Y}/\Delta - 11$ — минутная стрелка на цифре 12, а часовая на цифре 11.

Группу соединений $\text{Y/Y} - 0$ применяют для трансформаторов небольшой мощности напряжением 10/0,4 или 6/0,4 кВ с выведенной нулевой точкой при смешанной осветительной и силовой нагрузке.

Эта схема успешно заменяется схемами $\text{Y}/\text{Z} - 11$ и $\Delta/\text{Y} - 11$, которые лучше работают при неравномерной нагрузке фаз.

Группу соединений $\text{Y}/\Delta - 11$ применяют для трансформаторов при низшем напряжении, большем 400 В, например в трансформаторах напряжением 6/0,525, 10/0,525, 35/10, 35/6 кВ.

Группу соединений $\text{Y}/\Delta - 11$ используют при высшем напряжении 110 кВ и более.

Соединять обмотки в звезду выгодно при высших напряжениях, так как тогда на фазу подводится фазное напряжение, которое в $\sqrt{3}$ раза меньше линейного (рис. 102, а), что дает возможность удешевить изоляцию обмотки.

Соединение треугольником обычно применяют при низших напряжениях и больших токах, что дает возможность уменьшить сечение проводов обмоток, так как в этом случае фазный ток в проводах обмотки меньше в $\sqrt{3}$ раза линейного тока (рис. 102, б).

На щитке трансформатора всегда указывают линейные напряжения и токи.

КАРТОЧКА № 51 (191)

Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов

Трансформатор включен в трехфазную сеть 380/220 В. Обмотки трансформатора соединены звездой.	220 В	1645
На какое напряжение должны быть рассчитаны фазы первичной обмотки?	380 В	1137

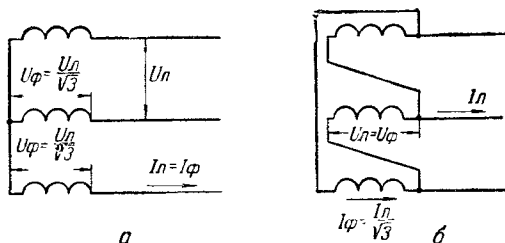


Рис. 102. Напряжения и токи в обмотках: а — при соединении в звезду; б — при соединении в треугольник.

Вторичная обмотка трансформатора соединена треугольником. Трехфазная нагрузка потребляет ток 100 А. На какой ток должны быть рассчитаны фазы вторичной обмотки?	100 А	825
	$\sqrt{3} \cdot 100 \text{ А}$	1308
	$100/\sqrt{3} \text{ А}$	1001
Как относятся линейные напряжения при соединении обмоток Δ/Δ , если k — отношение фазных напряжений?	k	1152
	$\sqrt{3} k$	843
	$k/\sqrt{3}$	1328
Как относятся линейные напряжения при соединении обмоток Δ/Y ?	$U_{\Delta 1}/U_{\Delta 2} = \frac{k}{\sqrt{3}}$	850
	$U_{\Delta 1}/U_{\Delta 2} = \sqrt{3} k$	1166
Трансформатор, схема соединений которого Δ/Y и $k=1$, подсоединен к сети с линейным напряжением 220 В. Определите линейное напряжение на выходе трансформатора	220 В	856
	380 В	1343
	Задача неопределенна, так как неизвестна группа соединений обмоток	1031

§ 2. Векторные диаграммы напряжений трехфазных трансформаторов при симметричной и несимметричной нагрузках

При равномерной симметричной нагрузке трансформаторов падения напряжения на всех обмотках одинаковы. Так же как и для однофазного трансформатора, можно нарисовать упрощенную векторную диаграмму всех трех фаз приведенного трансформатора при соединении обмоток по схеме $Y/Y - 0$. Сначала отложим векторы фазных напряжений фаз A , B и C первичной обмотки. Положение этих векторов определяется напряжением сети. Соединив концы векторов, получим треугольник линейных напряжений ABC (рис. 103, а). При холостом ходе эта же диаграмма будет диаграммой вторичных напряжений, т. е. треугольник ABC совпадает с треугольником abc , так как векторы фазных и линейных напряжений первичных и вторичных обмоток одинаковы, потому что $k=1$, т. е. $U_1 = U_{20}$.

При смешанной активно-индуктивной нагрузке трансформатора по его обмоткам протекают токи I_1 и I_2 , которые, согласно условию построения упрощенной векторной диаграммы, равны, т. е. $I_1 = I_2$. Отложим векторы тока I_a , I_b и I_c на диаграмме. Они будут отставать от векторов фазных напряжений.

Для получения упрощенной векторной диаграммы вторичных напряжений при нагрузке отложим векторы падения напряжения

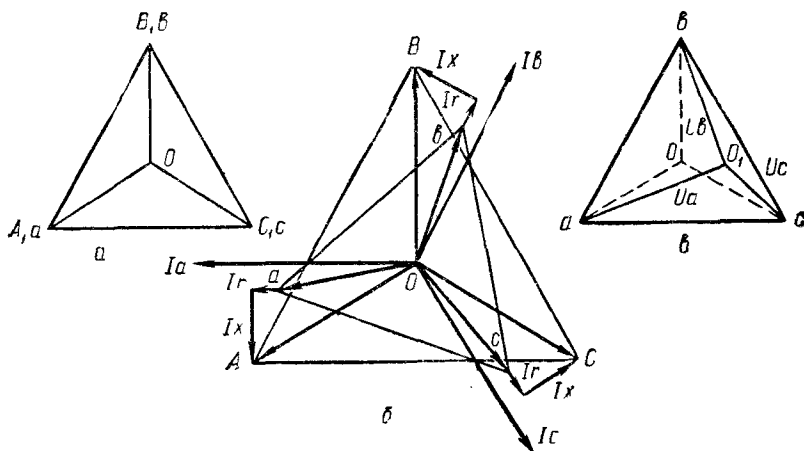


Рис. 103. Векторные диаграммы трехфазного трансформатора:
 a — при холостом ходе; b — при симметричной нагрузке; c — диаграмма напряжений вторичной обмотки при неравномерной нагрузке фаз.

на активных и индуктивных сопротивлениях обмоток всех фаз, причем векторы падения напряжения на активных сопротивлениях $I_a r_k$ и т. д. будут совпадать по фазе с током, а векторы падения напряжения на индуктивных сопротивлениях $I_a x_k$ и т. д. перпендикулярны к векторам токов и направлены в сторону опережения. Начала векторов $I_a r_k$, $I_b r_k$ и $I_c r_k$ соединим с точкой O диаграммы и получим векторы фазных напряжений при нагрузке, а соединив концы векторов a , b , c , получим треугольник линейных напряжений abc вторичной обмотки трансформатора при симметричной нагрузке (рис. 103, б).

При неравномерной нагрузке фаз трансформатора токи нулевой последовательности создают магнитные потоки нулевой последовательности, которые, замыкаясь по сердечнику, ярмам и баку трансформатора, индуцируют в них вихревые токи, что приводит к значительному нагреву этих элементов, трансформаторного масла и обмоток.

Кроме того, при неравномерной нагрузке фаз происходит смещение нейтрали и искажение звезды фазовых э. д. с. (рис. 103, в). Поэтому к токоприемникам, подключенным к перегруженной фазе и нулевой точке, будет подводиться напряжение меньше номинального, а к токоприемникам, подключенным к недогруженным фазам и нулевой точке, — напряжение выше номинального, что может привести к их повреждению.

Во избежание этого ток в нулевом проводе не должен быть больше 0,25 номинального тока обмотки низшего напряжения, причем токи в фазах обмоток не должны превышать номинального. В таких условиях смещение нулевой точки не превышает 5% номинального фазного напряжения.

Так как добиться равномерной нагрузки фаз у трансформаторов со схемой соединения обмоток $\Upsilon/\Upsilon - 0$ очень трудно, то эти трансформаторы заменяют трансформаторами со схемой соединения обмоток $\Upsilon/\Delta - 11$, в которых не возникают токи нулевой последовательности, а следовательно, магнитные потоки, замыкающиеся через бак. Так как обмотка низшего напряжения в каждой фазе состоит из двух равных частей, размещенных на разных стержнях магнитопровода, то при перегрузке одной из фаз смещения нулевой точки не происходит.

При схеме соединения обмоток $\Upsilon/\Upsilon - 0$ в трехстержневых трансформаторах, кроме основной составляющей магнитного потока, создаются третьи гармонические составляющие магнитных потоков, которые направлены во всех стержнях в одну сторону, поэтому замыкаются они через масло и сталь бака трансформатора, создавая в баке вихревые токи, что приводит к повышенному нагреву трансформатора. Вследствие этого схема соединения обмоток Υ/Υ имеет ограниченное применение.

Преимущество отдается схеме соединения обмоток Υ/Δ или Δ/Υ , так как в этом случае магнитные потоки третьей гармоники не возникают и при несимметричной нагрузке фаз система трехфазных напряжений искажается относительно слабо.

Поэтому в новом ГОСТе на трансформаторы и предусмотрена схема соединения обмоток $\Delta/\Upsilon - 11$.

КАРТОЧКА № 52 (182)

Векторные диаграммы напряжений трехфазных трансформаторов при симметричной и несимметричной нагрузках

Положение каких точек топографической диаграммы трехфазного трансформатора определяется напряжением сети, если трансформатор работает в режиме холостого хода? (См. рис. 103, а)	A, B, C, O	1072
	A, B, C, O, a, b, c	758
Положение каких точек топографической диаграммы трехфазного трансформатора определяется напряжением сети, если нагрузка трансформатора симметрична? (См. рис. 103, б)	A, B, C	1244
	A, B, C, O	939
	A, B, C, O, a, b, c	1090
Положение каких точек топографической диаграммы трехфазного трансформатора определяется напряжением сети, если нагрузка трансформатора несимметрична? (См. рис. 103, в)	A, B, C	773
	A, B, C, O	1261
	A, B, C, a, b, c	955

При симметричной активно-индуктивной нагрузке треугольник <i>авс</i> повернут относительно треугольника <i>ABC</i> по часовой стрелке. Как располагаются эти треугольники при чисто активной симметричной нагрузке?	Треугольник <i>авс</i> повернут относительно треугольника <i>ABC</i> по часовой стрелке	1106
	Стороны треугольников <i>авс</i> и <i>ABC</i> параллельны	788
	Треугольник <i>авс</i> повернут относительно треугольника <i>ABC</i> против часовой стрелки	1275
В каком случае смещение нулевой точки не превысит 5% номинального фазного напряжения понижающего ($I_2 > I_1$) трансформатора?	Если $I_0 \leq 0,25I_{2ном}$	968
	Если $I_2 \leq I_{2ном}$	1118
	Если $I_0 \leq 0,25I_{2ном}$ и $I_2 \leq I_{2ном}$	806

§ 3. Регулирование напряжения

Падение напряжения в линиях электропередачи предопределяет то обстоятельство, что если не предпринять необходимые меры, то удаленные от электростанции потребители получат электроэнергию пониженного напряжения. Для того чтобы обеспечить всем потребителям электроэнергию подачу номинального напряжения, в обмотках высшего напряжения трансформаторов предусмотрены отводы (аппанфы), при помощи которых регулируют напряжение в пределах $\pm 5\% U_n$.

Переключая отводы, увеличивают или уменьшают число витков обмотки высшего напряжения, изменяя таким образом коэффициент трансформации трансформатора. Существует два способа регулирования напряжения.

Первый способ — регулирование напряжения изменением числа витков вторичной обмотки (рис. 104, а) — применим в том случае, когда трансформатор используют как повышающий. К обмотке низшего напряжения (без ответвлений) подводят напряжение сети. При

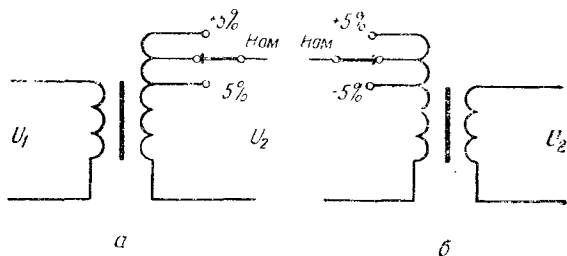


Рис. 104. Регулирование напряжения:

а — изменением числа витков вторичной обмотки; б — изменением магнитного потока.

постоянном напряжении и частоте в сети магнитный поток в трансформаторе постоянен, а э. д. с. E_2 меняется прямо пропорционально изменению числа витков вторичной обмотки, согласно формуле (52) : $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m$ В, т. е. для повышения э. д. с. нужно увеличивать число витков, а для снижения — уменьшать.

Второй способ — регулирование напряжения изменением числа витков первичной обмотки (рис. 104, б) — называют регулированием напряжения изменением магнитного потока. Если пренебречь падением напряжения в обмотках трансформатора ($U_1 \approx E_1$) и принять, что напряжение сети и частота постоянны по величине, то по формуле (51) $E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m = \text{const}$. Тогда произведение $\Phi_m w_1 = \text{const}$, т. е. при уменьшении числа витков первичной обмотки магнитный поток увеличивается, и наоборот. Для того чтобы увеличить на 5% напряжение на зажимах вторичной обмотки, необходимо уменьшить на 5% число витков первичной обмотки, т. е. перевести переключатель из положения «Ном.» вниз на отметку «-5%».

Недостаток этих способов регулирования напряжения заключается в том, что для переключения ответвлений необходимо отключать трансформатор от сети. Это вызывает перебои в электроснабжении потребителей. В современных трансформаторах напряжение регулируют под нагрузкой.

КАРТОЧКА № 53 (267)

Регулирование напряжения

Где устанавливаются ответвления для регулировки выходного напряжения трансформатора?	В первичной обмотке	1293
	В обмотке высшего напряжения	988
	Во вторичной обмотке	1138
	В обмотке низшего напряжения	826
Как регулируют напряжение повышающего трансформатора?	Изменением числа витков первичной обмотки	1309
	Изменением числа витков вторичной обмотки	1002
Как регулируют напряжение понижающего трансформатора?	Изменением числа витков первичной обмотки	1153
	Изменением числа витков вторичной обмотки	844
Переключатель повышающего трансформатора перевели из положения «+5%» в положение «-5%». Как изменилось напряжение на выходе трансформатора?	Увеличилось на 10%	1329
	Не изменилось	1016
	Уменьшилось на 10%	1167

Переключатель понижающего трансформатора перевели из положения «+5%» в положение «-5%». Как изменилось напряжение на выходе трансформатора?	Увеличилось на 10%	857
	Не изменилось	1344
	Уменьшилось на 10%	1032

§ 4. Регулирование напряжения под нагрузкой

Для регулирования напряжения без отключения нагрузки отечественная электропромышленность выпускает трансформаторы с переключением ответвлений под нагрузкой, например ранее выпускались трансформаторы типа ТСМН мощностью 20, 35, 60 и 100 кВА и напряжением 10/0,4 кВ, с одноступенчатым ($\pm 5\%$) регулированием напряжения в обмотке высшего напряжения. Переключающее устройство включено между ответвлениями «Ном.» и «+5%» (рис. 105, а). Оно состоит из переключателя с подвижным контактом 4 и приводного электромагнита 3, переключающего этот контакт.

Если трансформатор работает в качестве понижающего и подвижный контакт 4 переключателя установлен на контакте, соединенном с ответвлением «+5%», то для увеличения напряжения на 5% необходимо переключить подвижный контакт 4 на контакт, соединенный с ответвлением «Ном.». Подвижный контакт перейдет сначала на средний контакт, и ток нагрузки будет проходить в обмотку через токоограничивающее сопротивление 1. Затем подвижный контакт 4 замкнет верхний и средний неподвижные контакты, но так как часть

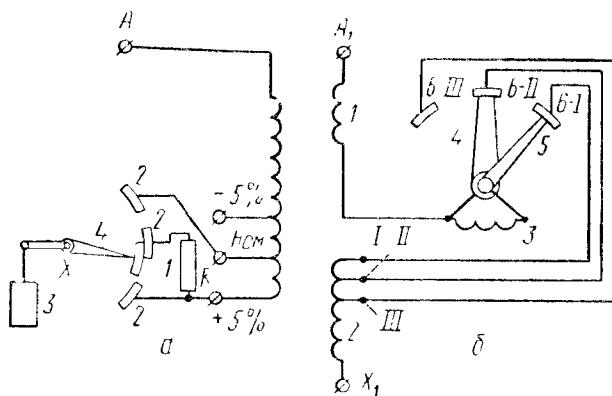


Рис. 105. Регулирование напряжения под нагрузкой:

а — схема переключающего устройства трансформатора типа ТСМН со встроенным регулированием напряжения под нагрузкой: 1 — токоограничивающее сопротивление; 2 — неподвижные контакты переключателя; 3 — электромагнит переключателя; 4 — подвижный контакт переключателя; б — схема ступенчатого регулирования трансформаторов типа ТМН: 1 — основная обмотка; 2 — регулировочная обмотка; 3 — токоограничивающее сопротивление (реактор); 4, 5 — подвижные контакты; 6 — I, 6 — II, 6 — III — неподвижные контакты.

обмотки между этими контактами замыкается накоротко через сопротивление I , то ток короткого замыкания ограничен. После перехода подвижного контакта 4 на верхний неподвижный контакт процесс переключения заканчивается. При снижении нагрузки можно переключить этим же устройством контакт 4 на ответвление «+5%», снизив напряжение на 5%. Конструкция электромагнита предусматривает установку выдержки времени до 30 с, чтобы избежать излишних переключений при кратковременных колебаниях напряжения, которые сокращают срок службы переключателя.

КАРТОЧКА № 54 (303)

Регулирование напряжения под нагрузкой

Трансформатор ТСМН работает в качестве повышающего. Как должно измениться положение подвижного контакта автоматического переключающего устройства, чтобы напряжение на выходе увеличилось на 5%?	От «Ном.» к «+ 5%»	1182
	От «+ 5%» к «Ном.»	872
	От «Ном.» к «- 5%»	1360
Для чего служит сопротивление R в схеме переключающего устройства трансформатора ТСМН? (см. рис. 105, а)	Для ограничения тока нагрузки при переключении контактов	1198
	Для устранения возможности короткого замыкания части витков, заключенных между клеммами «Ном.» и «+ 5%»	894
	Для устранения возможности короткого замыкания части витков, заключенных между клеммами «- 5%» и «+ 5%»	1046
Укажите величину ступени регулирования напряжения в трансформаторе типа ТМН с номинальным напряжением 6 кВ?	2%	734
	1,5%	1214
	1,25%	909
Каково назначение двухконтактного переключателя и реактора в схеме регулирования напряжения трансформатора ТМН?	Для ограничения тока нагрузки при переключении контактов	1057
	Для устранения разрыва цепи и искрения при переключении контактов	745
С какой целью в электромагните автоматов переключения напряжения вводится 30 секундная задержка во времени срабатывания?	Чтобы ограничить колебания тока при переключении	1230
	Чтобы ограничить колебания напряжения при переключении	922
	Чтобы избежать переключений при кратковременных колебаниях напряжения	1073

Переключения с одного ответвления обмотки на другое осуществляются автоматически. Все переключающее устройство помещено внутри бака, над магнитопроводом трансформатора.

Электропромышленность выпускает также регулируемые трансформаторы и значительно больших мощностей, например типа ТМН мощностью от 1000 до 6300 кВА. Эти трансформаторы имеют пределы регулирования $\pm 6 \times 1,5\%$ при напряжении 20 и 35 кВ и $\pm 8 \times 1,25\%$ при напряжении 6 и 10 кВ. Принципиальная схема ступенчатого регулирования силовых трансформаторов типа ТМН под нагрузкой приведена на рисунке 105, б. Например, при переключении с неподвижного контакта 6—II на контакт 6—I сначала с контакта 6—II на контакт 6—I переключается подвижный контакт 5. В это время замыкается часть обмотки между контактами 6—II и 6—I на реактор 3, который ограничивает величину тока в этой части обмотки, затем на контакт 6—I переключается подвижный контакт 4 и переключение заканчивается. Подвижные контакты 4 и 5 изолированы друг от друга.

Переключатель помещен в отдельном баке, наполненном маслом. Переключение производится электроприводом автоматически, в зависимости от уровня напряжения в сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование трансформаторов

Ц е л ь р а б о т ы. Провести опыты холостого хода и короткого замыкания, определить необходимые параметры, построить характеристики.

П л а н р а б о т ы. 4. Ознакомиться с конструкцией и заводским щитком трансформатора.

2. Определить коэффициент трансформации трансформатора.

3. Подобрать приборы и оборудование, составить схему и провести опыты холостого хода и короткого замыкания.

4. Определить ток холостого хода, потери в стали и в меди, к. п. д., параметры короткого замыкания и изменение напряжения при номинальной мощности трансформатора и коэффициенте мощности 0,8.

5. Зарисовать в отчет схему опытов, записать данные всех измерений и расчеты.

П о я с н е н и я к р а б о т е. Для определения коэффициента трансформации подключают напряжение сети к обмотке высшего напряжения трансформатора при разомкнутой его вторичной обмотке и одновременно двумя вольтметрами измеряют напряжение на зажимах обеих обмоток (рис. 106). Результаты измерений заносят в таблицу, форма которой приведена ниже.

Схема соединения	$U_{AB},$ В	$U_{ab},$ В	k_A	$U_{BC},$ В	$U_{bc},$ В	k_B	$U_{CA},$ В	$U_{ca},$ В	k_C	k

В этой таблице

$$k_A = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}; \quad k_I = \frac{U_{BC}}{U_{bc}}; \quad k_C = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}.$$

Среднее значение коэффициента трансформации

$$k = \frac{k_A + k_I + k_C}{3}. \quad (81)$$

При проведении опыта холостого хода трансформатора определяют величину потерь в стали и ток холостого хода, а при проведении опыта короткого замыкания — величину потерь в меди.

Зная величину потерь в стали и меди, можно определить к. п. д. трансформатора, а также изменение напряжения в трансформаторе при нагрузке.

Для опыта холостого хода из соображений электробезопасности лучше брать трансформатор напряжением 220/380 или 127/220 В.

Если необходимо провести опыт холостого хода высоковольтного трансформатора, то при этом следует строго соблюдать правила безопасности. Напряжение при опыте подводят к обмотке низкого напряжения, кожух трансформатора заземляют, а выводы обмотки высокого напряжения надежно ограждают щитами.

Схема опыта холостого хода однофазного трансформатора приведена на рисунке 107, а трехфазного — на рисунке 108.

Для опыта холостого хода берут следующие приборы: амперметр на ток около 10% I_n трансформатора, ваттметр на такой же ток и вольтметр на фазное напряжение. Токи измеряют во всех трех фазах, а затем находят среднее арифметическое значение токов по формуле

$$I_0 = \frac{I_{A1} + I_{A2} + I_{A3}}{3}. \quad (82)$$

При проведении опыта с однофазным трансформатором для регулирования первичного напряжения применяют однофазный автотрансформатор, а с трехфазным — поворотный трехфазный автотрансформатор. При помощи автотрансформатора напряжение во время опыта поддерживают номинальным.

Перед включением схемы в сеть шунтируют рубильниками $P2$ амперметр и токовую катушку ваттметра во избежание повреждения приборов броском намагничивающего тока. Затем, установив при помощи автотрансформатора наибольшее напряжение, включают трансформатор в сеть. После включения устанавливают номинальное напряжение на зажимах обмотки трансформатора, размыкают рубильники $P2$ и записывают показания приборов в следующую таблицу.

Номер измерения	U_0 , В	I_0 , А	P_0 , Вт	ос ϕ_0

По результатам измерений определяют $\cos \varphi_0$ для однофазного трансформатора:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{0н} I_0}. \quad (83)$$

Для трехфазного трансформатора коэффициент мощности вычисляют по формуле

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U_{0н} I_0}, \quad (84)$$

где I_0 — среднее арифметическое значение тока холостого хода, определяемое по формуле (82);

$P_0 = P_{c1} + P_{c2}$ — алгебраическая сумма показаний двух ваттметров.

Если стрелка одного из ваттметров отклоняется влево, то для отсчета показаний его переключают, а общую мощность определяют как разность показаний двух ваттметров, причем из показаний ваттметра, стрелка которого отклоняется вправо, вычитают показания того ваттметра, стрелка которого отклонялась влево.

Ток холостого хода, в процентах от номинального

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_n} 100, \quad (85)$$

где I_0 — ток холостого хода трансформатора, А;

I_n — номинальный ток трансформатора, А.

Для опыта короткого замыкания берут следующие приборы: амперметр и ваттметр, рассчитанные на номинальный ток трансформатора, и вольтметр, рассчитанный на 40—45% напряжения той обмотки, к которой оно подводится.

При опыте обмотку низшего напряжения обычно замыкают накоротко, а к обмотке высшего напряжения подводят пониженное напряжение такой величины, чтобы

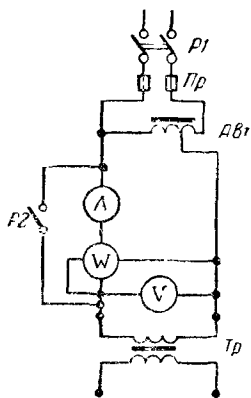


Рис. 107. Опыт холостого хода однофазного трансформатора:

P_1 — рубильник; P_2 — рубильник для замыкания токовой катушки ваттметра; Pr — предохранитель; $Авт$ — автотрансформатор; Tr — испытуемый трансформатор.

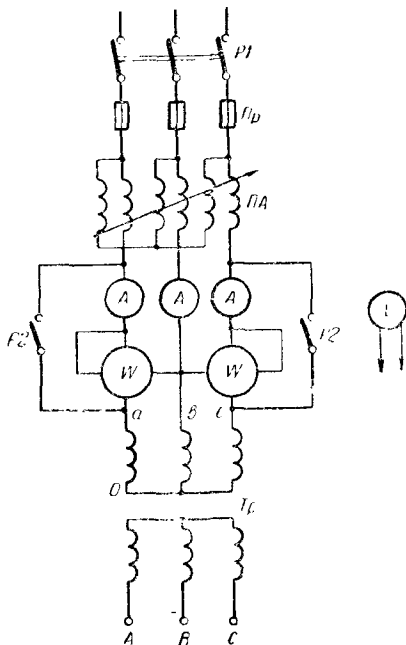


Рис. 108. Опыт холостого хода трехфазного трансформатора:

P_1 — рубильник; P_2 — рубильник для замыкания токовой катушки ваттметра; Pr — предохранитель; $Авт$ — поворотный автотрансформатор; Tr — испытуемый трансформатор.

Мощность P_K короткого замыкания определяют как алгебраическую сумму показаний двух ваттметров $P_K = P_1 + P_2$.

По полученным данным определяют параметры короткого замыкания и коэффициент мощности:

а) для однофазного трансформатора коэффициент мощности по формуле (71), а параметры короткого замыкания по формулам (68), (69), (70);

б) для трехфазного трансформатора по формулам

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{\sqrt{3} U_K I_K}, \quad (86)$$

$$z_K = \frac{U_K}{\sqrt{3} I_K}, \quad (87)$$

$$r_K = \frac{P_K}{3 I_K^2}, \quad (88)$$

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}.$$

Приято считать, что мощность, измеренная при опыте короткого замыкания трансформатора, идет в основном на покрытие потерь в меди, а при опыте холостого хода — на покрытие потерь в стали, поэтому $P_{ст} = P_0$, а $P_M = P_K$.

Коэффициент полезного действия трансформатора определяют по формуле (79), а изменение напряжения — по формуле (76).

Глава XIII

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. Условия включения трансформаторов на параллельную работу

Параллельной называют работу двух или нескольких трансформаторов, когда их первичные обмотки подключены к общей первичной сети, а вторичные — к общей вторичной сети.

Трехфазные трансформаторы можно включать на параллельную работу, если соблюдены следующие условия:

а) равенство коэффициентов трансформации линейных напряжений при холостом ходе

$$k_I = k_{II} = k_{III} = \dots = k_n;$$

б) равенство напряжений короткого замыкания трансформаторов

$$U_{KI} = U_{KII} = U_{KIII} = \dots = U_{Kn};$$

в) равенство групп соединения трансформаторов.

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов не превышало 3 : 1.

Перед включением трансформаторов на параллельную работу необходимо их сфазировать, т. е. проверить совпадение по фазе вторичных напряжений трансформаторов, присоединенных с первичной стороны к одной и той же сети. Фазировку, как правило, проводят на низком напряжении трансформаторов, пользуясь вольтметром, а при высоком напряжении вольтметр включают через трансформаторы напряжения.

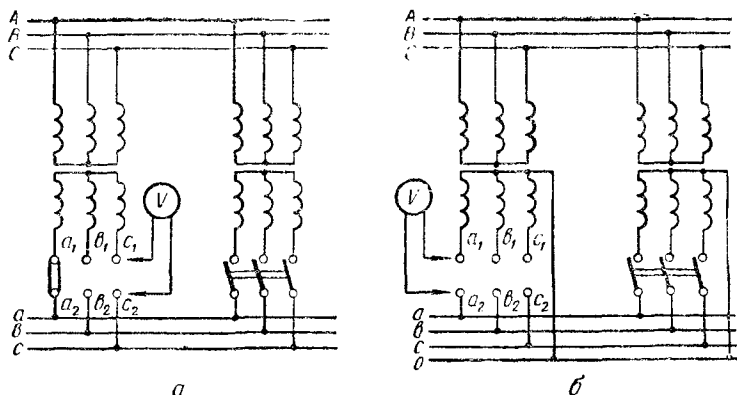


Рис. 111. Фазировка трансформаторов:

а — с изолированной нейтралью; б — с заземленной нейтралью.

При фазировке трансформаторов с изолированной нейтралью соединяют перемычкой два одноименных вывода, например a_1 и a_2 (рис. 111, а), создавая замкнутую электрическую цепь, по которой проходит ток вольтметра. У трансформаторов с заземленной нейтралью такое соединение делать нельзя, так как при соединении двух разноименных фаз произойдет короткое замыкание.

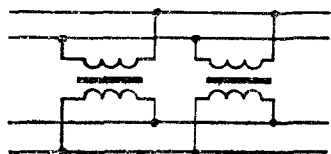
При фазировке измеряют напряжение между фазами обмоток трансформаторов. Если напряжение между одноименными фазами b_1 и b_2 , c_1 и c_2 равно нулю, а между разноименными равны линейным напряжениям $U_{b_1c_1} = U_{a_1b_2} = U_{a_2b_1}$, то трансформатор можно включать на параллельную работу, он сфазирован.

При фазировке трансформаторов с заземленной нейтралью напряжения между фазами a_1 и a_2 , b_1 и b_2 , c_1 и c_2 должны быть равны нулю, а напряжения между разноименными фазами — линейному напряжению (рис. 111, б).

КАРТОЧКА № 55 (233)

Условия включения трансформаторов на параллельную работу

Можно ли сказать, что трансформаторы включены на параллельную работу?



Можно

759

Нельзя

1245

При напряжении на первичных обмотках 220 В на вторичных обмотках трансформаторов замерены напряжения холостого хода: $U_1 = 110$ В; $U_2 = 500$ В, $U_3 = 110$ В. Какие трансформаторы нельзя включать на параллельную работу?	Первый и третий	940
	Второй и третий	1091
	Задача неопределенна, так как неизвестны коэффициенты трансформации	774
Можно ли включить на параллельную работу трансформаторы, напряжения короткого замыкания которых равны?	Можно	1262
	Нельзя	956
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1107
Трансформаторы принадлежат к одной группе соединения обмоток, отношение их номинальных мощностей не превышает 1 : 3. Можно ли эти трансформаторы включать на параллельную работу?	Можно	789
	Нельзя	1276
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	969
Что произойдет, если включить на параллельную работу несфазированные трансформаторы?	На выходных линиях появится удвоенное напряжение	1119
	Через обмотки трансформаторов потечет большой ток даже при отключенной нагрузке	807

§ 2. Явления в трансформаторах при неравенстве коэффициентов трансформации

Если коэффициенты трансформации трансформаторов различны, то по обмоткам трансформаторов течет уравнивающий ток, который перегружает трансформатор с меньшим коэффициентом трансформации.

Величину уравнивающего тока можно определить по формуле

$$I_{\text{ур}} = \frac{a I_1}{U_{\text{к1}} + \frac{U_{\text{к11}}}{\beta}}, \quad (89)$$

где a — разница вторичных напряжений, %;
 $\beta = \frac{I_{11}}{I_1}$ — отношение номинального тока I_{11} второго (большого по мощности) трансформатора к номинальному току I_1 первого (меньшего по мощности) трансформатора;
 $U_{\text{к1}}$ и $U_{\text{к11}}$ — напряжения короткого замыкания трансформаторов.

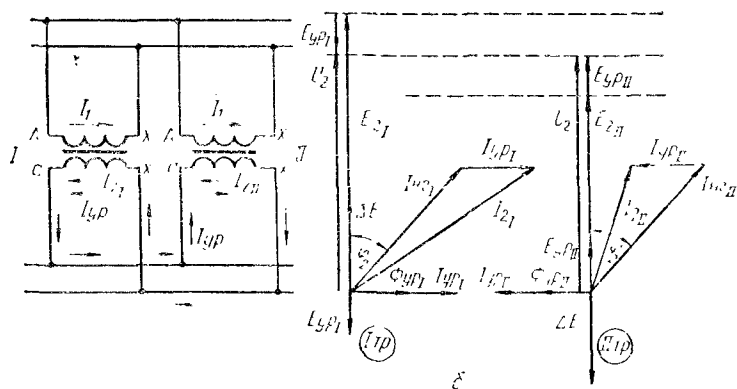


Рис. 112. Параллельная работа трансформаторов при неодинаковых коэффициентах трансформации:
а — схема; б — векторные диаграммы.

Представим себе, что на параллельную работу включены два однопазных трансформатора одинаковой мощности, причем у первого трансформатора напряжение U_{2I} больше, чем у второго U_{2II} (рис. 112, а). Так как $U_{2I} > U_{2II}$, то между обмотками трансформаторов при включении их на параллельную работу появится разность э. д. с. ΔE , что обусловит появление в обмотках уравнительного тока $I_{ур}$. Уравнительный ток является током реактивным, так как обмотки трансформаторов имеют в основном индуктивные сопротивления. Активным сопротивлением этих обмоток можно пренебречь, поскольку оно относительно мало. В первом трансформаторе уравнительный ток отстает от э. д. с. E_{2I} на 90° , он создает магнитный поток $\Phi_{урI}$, который наводит во вторичной обмотке первого трансформатора э. д. с. $E_{урI}$, отстающую от потока $\Phi_{урI}$ на 90° . Как видно из векторной диаграммы (рис. 112, б), э. д. с. $E_{урI}$ направлена встречно э. д. с. E_{2I} и уменьшает ее величину до напряжения U_2 . Во втором трансформаторе уравнительный ток и э. д. с. ΔE имеют направления, противоположные направлениям соответствующих величин в первом трансформаторе. В этом случае уравнительный ток создает магнитный поток $\Phi_{урII}$, который индуцирует в обмотке э. д. с. $E_{урII}$, складывающуюся с э. д. с. обмотки E_{2II} , вследствие чего напряжение этой обмотки повышается до величины U_2 . Таким образом, благодаря протеканию по обмоткам уравнительного тока напряжения обмоток выравниваются и токи нагрузки обоих трансформаторов будут одинаковы, так как мощности трансформаторов равны.

Если под углом φ_2 отложить на векторных диаграммах токи нагрузки первого и второго трансформаторов и сложить эти токи с уравнительными, то первый трансформатор будет перегружен по току, а второй недогружен, так как $I_{2I} > I_{2II}$. Таким образом, уравнительный ток не дает возможности использовать трансформаторы на полную мощность, так как перегружать первый трансформатор

нельзя. Допускается включать на параллельную работу трансформаторы с разными коэффициентами трансформации, если

$$\Delta k\% = \frac{k_I - k_{II}}{k} 100 \leq \pm 0,5\%, \quad (90)$$

где $k = \sqrt{k_I k_{II}}$ — среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации.

КАРТОЧКА № 56 (258)

Явления в трансформаторах при неравенстве коэффициентов трансформации

Если пренебречь активным сопротивлением обмоток, то уравнивающий ток отстает по фазе на 90° от э. д. с. вторичной обмотки	того трансформатора, э. д. с. которого больше	1310
	того трансформатора, э. д. с. которого меньше	1003
Э. д. с., индуцируемая уравнивающим током во вторичной обмотке трансформатора,	отстает по фазе на 90° от уравнивающего тока	1330
	опережает по фазе на 90° уравнивающий ток	1017
	совпадает по фазе с уравнивающим током	1168
Два трансформатора включены на параллельную работу. Э. д. с., индуцируемая уравнивающим током, совпадает по фазе	с меньшей из э. д. с. вторичных обмоток	858
	с большей из э. д. с. вторичных обмоток	1345
Мощности параллельно работающих трансформаторов одинаковы. Э. д. с. вторичной обмотки первого трансформатора больше э. д. с. вторичной обмотки второго трансформатора. Где протекает больший ток?	Во вторичной обмотке первого трансформатора	873
	В обмотках первого трансформатора	1361
	В обмотках второго трансформатора	720
Коэффициент трансформации первого трансформатора $k_1 = 20,1$, второго — $k_2 = 20$.	Можно	1199
Можно ли эти трансформаторы включить на параллельную работу, если другие условия выполнены?	Нельзя	895

§ 3. Явления в трансформаторах при неодинаковых напряжениях короткого замыкания

Если параллельно работают трансформаторы с неодинаковыми напряжениями короткого замыкания, то трансформатор с меньшим значением напряжения короткого замыкания перегружен.

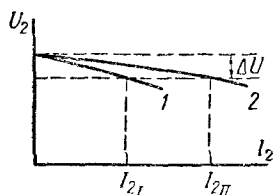


Рис. 113. Внешние характеристики для трансформаторов с различными значениями напряжения короткого замыкания.

Сопротивление трансформатора z_K пропорционально напряжению короткого замыкания. При включении на параллельную работу двух трансформаторов с различными напряжениями короткого замыкания на шинах установится одинаковое напряжение U_2 , так как падения напряжения у обоих трансформаторов должны быть одинаковы, т. е.

$$I_1 z_{KI} = I_2 z_{KII},$$

откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{z_{KII}}{z_{KI}}.$$

Таким образом, токи нагрузки параллельно включенных трансформаторов обратно пропорциональны их сопротивлениям короткого замыкания.

У трансформаторов с меньшим значением напряжения короткого замыкания должен проходить по обмоткам больший ток, чем у трансформаторов с большим значением напряжения короткого замыкания, чтобы при одинаковой мощности трансформаторов падения напряжения в их обмотках были одинаковы. На рисунке 113 изображены внешние характеристики двух трансформаторов одинаковой мощности (кривая 1 для трансформатора с большим значением напряжения короткого замыкания, а кривая 2 — с меньшим). Как показывают характеристики, второй трансформатор перегружается.

Допускается разница между напряжениями короткого замыкания, не более чем на $\pm 10\%$ отличающаяся от их среднего арифметического значения:

$$\Delta U_{K\%} = \frac{U_{KI} - U_{KII}}{U_{K, \text{ср}}} \cdot 100 \leq 10\%. \quad (91)$$

Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами определяется по формуле

$$S_x = \frac{S}{\sum U_K} \cdot \frac{S_{Hx}}{U_{Kx}}, \quad (92)$$

где S_x — нагрузка данного трансформатора, кВА;

S — общая нагрузка всей параллельной группы, кВА;

U_{Kx} — напряжение короткого замыкания данного трансформатора, %;

S_{Hx} — номинальная мощность данного трансформатора, кВА.

$$\sum \frac{S_{HI}}{U_{KI}} = \frac{S_{HII}}{U_{KII}} + \frac{S_{HIII}}{U_{KIII}} + \dots + \frac{S_{Hn}}{U_{Kn}}.$$

**Явления в трансформаторах при неодинаковых напряжениях
короткого замыкания**

Определите сопротивление короткого замыкания z_K , если напряжение в этом режиме 5 В, а ток 10 А	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1215
	2 Ом	910
	0,5 Ом	1058
Э. д. с. вторичных обмоток параллельно работающих трансформаторов одинаковы. Сопротивления короткого замыкания трансформаторов известны: $z_{K1} = 0,5$ Ом; $z_{K2} = 0,4$ Ом. Ток первого трансформатора 12 А. Определите ток второго трансформатора	12 А	746
	15 А	1231
Изображены внешние характеристики двух трансформаторов. У какого трансформатора z_K больше?	У первого	923
	У второго	1074
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	769
Трансформаторы, характеристики которых изображены выше, включены на параллельную работу. Какой трансформатор нагружен больше?	Первый	1246
	Второй	941
	Оба трансформатора нагружены одинаково	1092
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	775
Известны напряжения короткого замыкания трансформаторов: $U_{K1} = 11$ В; $U_{K2} = 10$ В. Можно ли эти трансформаторы включить на параллельную работу, если другие условия выполнены?	Можно	1263
	Нельзя	957

**§ 4. Явления в трансформаторах, принадлежащих
к разным группам соединения обмоток**

Если трансформаторы принадлежат к разным группам соединения обмоток, то параллельная работа их невозможна, так как между обмотками трансформаторов появляется разность потенциалов, вызывающая очень большие уравнивающие токи. Например, при вклю-

чении на параллельную работу трансформаторов 11 и 0 групп вторичные линейные напряжения сдвинуты на 30° , а между обмотками трансформаторов создается разность потенциалов ΔE , под действием которой возникает уравнивающий ток, в несколько раз превышающий номинальный, так как сопротивления z_{KI} и z_{KI} невелики.

Величину уравнивающего тока при условии, что коэффициенты трансформации и напряжения короткого замыкания одинаковы, можно определить по формуле

$$I_{ур} = \frac{200 \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{U_{KI}}{I_{HI}} - \frac{U_{KI}}{I_{HI}}}, \quad (93)$$

где α — угол между векторами линейных напряжений трансформаторов;

U_{KI} и U_{KI} — напряжения короткого замыкания трансформаторов, %;

I_{HI} и I_{HI} — номинальные токи трансформаторов, А.

Пример 1. Определить уравнивающий ток в долях от номинального, если на параллельную работу включены два трансформатора одинаковой мощности ($I_{HI} = I_{HI}$) — один с соединением обмоток Y/Y — 0, второй Y/Δ — 11. $U_{KI} = U_{KI} = 5,5\%$. Угловое смещение векторов линейных напряжений $\alpha = 30^\circ$.

Решение. Уравнивающий ток

$$I_{ур} = \frac{200 \sin \frac{30}{2}}{\frac{U_{KI}}{I_{HI}} - \frac{U_{KI}}{I_{HI}}} = \frac{100 \cdot 0,259}{5,5} I_{HI} = 4,7 I_{HI}.$$

Уравнивающий ток будет в 4,7 раза больше номинального.

Пример 2. Определить, можно ли включить на параллельную работу два трансформатора со следующими паспортными данными:

1) $S_{HI} = 400$ кВА; $U_1 = 10500/400$ В; $U_{KI} = 4,5\%$; $\text{Y/Y} - 0$;

2) $S_{HI} = 630$ кВА; $U_{HI} = 10000/380$ В; $U_{KI} = 5,5\%$; $\text{Y/Y} - 0$.

Как распределится общая нагрузка 1000 кВА между трансформаторами?

Решение. Коэффициенты трансформации

$$k_I = \frac{10500}{400} = 26,25, \quad k_{II} = \frac{10000}{380} = 26,32.$$

Среднегеометрическое значение коэффициентов:

$$k = \sqrt{k_I k_{II}} = \sqrt{26,25 \cdot 26,32} = 26,29.$$

Разница между коэффициентами

$$\Delta k \% = \frac{k_{II} - k_I}{k} 100 = \frac{26,32 - 26,25}{26,29} 100 = 0,27\%,$$

т. е. $\Delta k \% = 0,27\% < 0,5\%$.

Параллельная работа по первому условию допускается.
Среднеарифметическое значение напряжений короткого замыкания

$$U_{к. ср} = \frac{U_{кI} + U_{кII}}{2} = \frac{5,5 + 4,5}{2} = 5\%.$$

Разница между напряжениями короткого замыкания

$$\Delta U_{к\%} = \frac{U_{кII} - U_{кI}}{U_{к. ср}} 100 = \frac{5,5 - 4,5}{5} 100 = 20\%.$$

Параллельная работа по второму условию не допустима, так как $\Delta U_{к\%} > 10\%$.

По третьему условию параллельная работа допускается, так как группы соединений обмоток одинаковы.

Подсчитаем, как распределилась бы нагрузка 1000 кВА между трансформаторами, если бы их включить на параллельную работу.

Нагрузка первого трансформатора составила бы

$$S_{xI} = \frac{S}{\frac{S_{нI}}{U_{кI}} + \frac{S_{нII}}{U_{кII}}} \cdot \frac{S_{нI}}{U_{кI}} = \frac{1000}{\frac{400}{4,5} + \frac{630}{5,5}} \cdot \frac{400}{4,5} \approx 436 \text{ кВА}.$$

Нагрузка второго трансформатора

$$S_{xII} = \frac{S}{\frac{S_{нI}}{U_{кI}} + \frac{S_{нII}}{U_{кII}}} \cdot \frac{S_{нII}}{U_{кII}} = \frac{1000}{\frac{400}{4,5} + \frac{630}{5,5}} \cdot \frac{630}{5,5} \approx 564 \text{ кВА}.$$

Как видно из примера, первый трансформатор был бы перегружен, а второй недогружен.

КАРТОЧКА № 58 (292)

Явления в трансформаторах, принадлежащих к разным группам соединения обмоток

Можно ли включить на параллельную работу трансформаторы, обмотки которых соединены по схемам Y/Y и Y/Y , если все прочие условия параллельной работы выполнены?	Можно	1108
	Нельзя	790
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1277
Можно ли включить на параллельную работу трансформаторы, обмотки которых соединены по схемам $Y/Y - 0$ и $Y/Y - 0$, если все прочие условия параллельной работы выполнены?	Можно	970
	Нельзя	1120
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	808
Можно ли включить на параллельную работу трансформаторы, обмотки которых соединены по схемам $Y/Y - 0$ и $Y/Y - 0$, если все прочие требования к их параллельной работе удовлетворены?	Можно	1294
	Нельзя	989
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1139

Можно ли включить на параллельную работу трансформаторы, обмотки которых соединены по схемам Y/Y и Y/Δ , если все прочие требования к их параллельной работе удовлетворены?	Можно	827
Что произойдет, если на параллельную работу включить трансформаторы с разными группами соединения обмоток?	Нельзя	1311
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1004
	Напряжение на нагрузке уменьшится до нуля	1154
	Через обмотки трансформаторов потечет большой уравнивающий ток	845

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Параллельная работа трехфазных трансформаторов

Цель работы. Провести фазировку трансформаторов и включить их на параллельную работу.

И л а н р а б о т ы. 4. Ознакомьтесь с трансформаторами, записать данные заводских щитков и определить возможность их включения на параллельную работу в соответствии с этими данными.

2. Подобрать необходимые приборы, составить схему и, сфазировав трансформаторы, включить их на параллельную работу.

3. Нагрузить трансформаторы и проследить, как распределяется нагрузка между ними.

Пояснения к работе. Для включения на параллельную работу берут два трехфазных трансформатора, удовлетворяющих необходимым условиям. Чтобы сфигуровать трансформаторы с изолированной нейтралью, между двумя одноименными зажимами $a-a_1$ рубильника $P2$ ставят перемычку (рис. 114). Затем включают рубильник $P1$ и вольтметром проверяют напряжения между зажимами рубильника $b-b_1$ и $c-c_1$ — они должны быть равны нулю. Между зажимами $b-c_1$ и $c-b_1$ должны быть линейные напряжения.

После фазировки включают трансформаторы на параллельную работу рубильником $P2$, а затем нагрузку рубильником $P3$. Записи наблюдений сводит в таблицу.

Номер измерений	I, A	I_1, A	I_2, A

Нагрузка должна распределяться между трансформаторами пропорционально их мощности.

На основании записей в таблице строят кривые зависимости токов первого и второго трансформаторов от общего тока нагрузки.

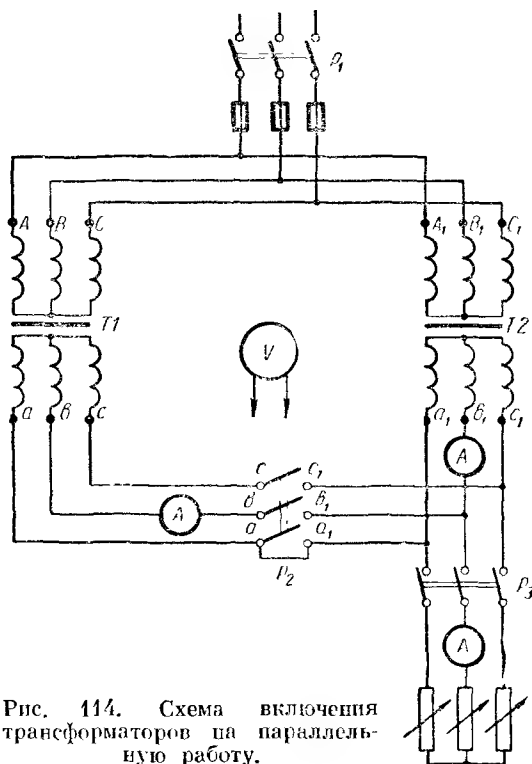


Рис. 114. Схема включения трансформаторов на параллельную работу.

При одинаковой мощности и соблюдении условий включения трансформаторов на параллельную работу эти кривые, построенные на общих осях координат, будут почти совпадать, так как нагрузка между трансформаторами распределится равномерно.

Глава XIV

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТИПЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. Автотрансформаторы

В автотрансформаторе на каждую фазу приходится только одна обмотка, намотанная на стальной сердечник. Автотрансформаторы могут служить как для понижения, так и для повышения напряжения. Коэффициент трансформации их невелик: $k = 1,25 - 2$.

На рисунке 115, а показана принципиальная схема повышающего автотрансформатора. Вся обмотка AX представляет собой первичную обмотку, а ее часть ax — вторичную. Если к первичной обмотке AX с числом витков w_1 подвести напряжение U_1 , а вторичную обмотку ax оставить разомкнутой, то ток, проходя по первичной обмотке, создаст магнитный поток Φ_1 , который будет индуцировать

в каждой витке обмотки э. д. с. e_B . Тогда э. д. с. в обмотке AX $E_1 = w_1 e_B$, а в части обмотки aX $E_2 = w_2 e_B$. Отношение э. д. с., индуцированных в обмотках AX и aX , как известно, есть коэффициент трансформации:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 e_B}{w_2 e_B} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Если к части обмотки aX подсоединить нагрузку $z_{нг}$ (рис. 115, б), то в цепи нагрузки потечет ток I_2 . Пренебрегая потерями в автотрансформаторе, можно написать, что

$$U_1 I_1 \approx I_2 U_2,$$

т. е. мощность, подведенная к автотрансформатору, равна мощности, полученной от него. Тогда $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$, так же как и в трансформаторе.

Ток нагрузки I_2 состоит из двух составляющих: тока сети I_1 (115, б и г) и результирующего тока I_p (рис. 115, б и е).

На участке обмотки aX протекает разность токов

$$\bar{I}_p = I_2 - I_1. \quad (94)$$

Это дает возможность выполнить обмотку aX из провода небольшого сечения.

Так как $I_2 = I_1 + I_p$ то, умножив обе части уравнения на U_2 , получим

$$S_2 = S_{эл} + S_{эм}, \quad (95)$$

т. е. мощность вторичной обмотки состоит из двух составляющих — электрической $S_{эл}$, поступающей из сети, и электромагнитной $S_{эм}$,

поступающей из вторичной обмотки aX , куда она передается электромагнитным путем при помощи потока Φ . Так как электромагнитным путем во вторичную обмотку передается только часть мощности, то это позволяет уменьшить сечение магнитопровода, что дает экономию стали и снижает потери в ней. При уменьшении сечения магнитопровода сокращается средняя длина одного витка и общее количество меди, расходуемой на обмотку. Электрические потери в обмотках автотрансформатора значительно меньше, чем в обмотках соответствующего по мощности трансформатора, поскольку в первом только одна обмотка,

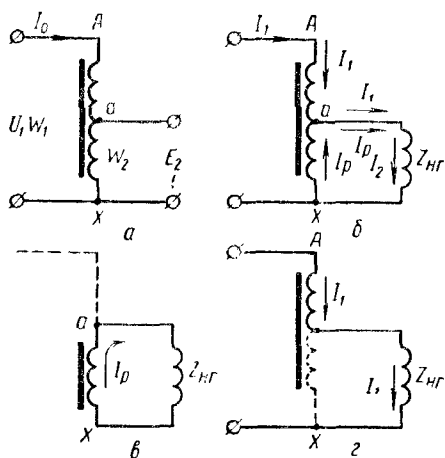


Рис. 115. Автотрансформатор понижающий:

а — в режиме холостого хода; б — в режиме нагрузки; в — цепь тока I_p ; г — цепь тока I_1 ;

а не две, и во вторичной обмотке протекает разность токов. Величина потерь короткого замыкания по сравнению с аналогичными потерями в соответствующем по мощности трансформаторе равна

$$P_{к.а} = P_{к.тр} \left(1 - \frac{1}{k_a} \right), \quad (96)$$

где $P_{г.в}$ — потери в меди автотрансформатора;

$P_{к.тр}$ — потери в меди трансформатора;

k_a — коэффициент трансформации автотрансформатора.

Автотрансформатор может быть повышающим; в этом случае (рис. 116) по части обмотки AX течет разность токов

$$\dot{I}_p = \dot{I}_1 - \dot{I}_2,$$

откуда

$$I_1 = I_p + I_2. \quad (97)$$

Величину результирующего тока для понижающего автотрансформатора можно найти по формуле

$$I_p = I_2 \left(1 - \frac{1}{k_a} \right), \quad (98)$$

а для повышающего автотрансформатора

$$I_p = I_1 \left(1 - \frac{1}{k_a} \right). \quad (99)$$

Автотрансформаторы применяют при пуске крупных синхронных

и асинхронных двигателей для понижения подводимого к ним пускового напряжения, а также в различных случаях, когда нужно регулировать напряжение в небольших пределах.

Имеются автотрансформаторы, у которых вторичное напряжение можно плавно регулировать, перемещая скользящий контакт по обмотке, которая в месте движения щетки не изолирована. По такому принципу устроен автотрансформатор типа ЛАТР — лабораторный автотрансформатор (рис. 117).

Автотрансформаторы, применяемые для повышения напряжения, оборудованы переключателями, которые позволяют изменять число витков вторичной обмотки и ступенчато регулировать напряжение на выходе автотрансформатора (рис. 118, а).

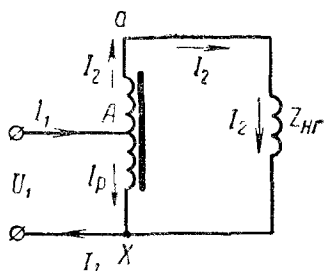


Рис. 116. Автотрансформатор повышающий.

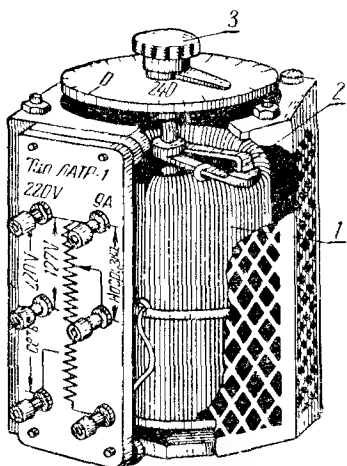


Рис. 117. Автотрансформатор типа ЛАТР-1 с плавным регулированием напряжения:

1 — обмотка; 2 — щеткодержатель скользящего контакта; 3 — рукоятка ползунка.

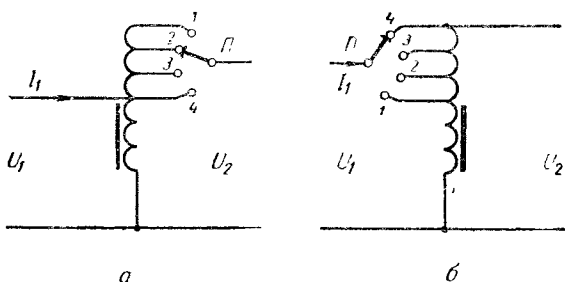


Рис. 118. Схемы повышающего автотрансформатора бытового назначения:

а — с регулированием числа витков вторичной обмотки;
б — с регулированием числа витков первичной обмотки.

Когда в сети номинальное напряжение, переключатель Π устанавливают на зажим 4: автотрансформатор находится в режиме холостого хода. При значительном снижении напряжения в сети эта схема малоэффективна, так как ток и магнитный поток снижаются и повышение напряжения получается небольшим. В таких случаях лучше применить схему с регулированием числа витков первичной обмотки (рис. 118, б). При снижении напряжения переключатель Π устанавливают на зажимы 1, 2 или 3 (в зависимости от степени снижения напряжения), а при номинальном напряжении в сети — на зажим 4.

Трехфазный автотрансформатор обычно соединяют в звезду (рис. 119).

Наряду с преимуществами, о которых было сказано ранее, у автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами имеются следующие недостатки:

а) между первичной и вторичной обмоткой существует электрическая связь, поэтому их нельзя использовать в качестве понижающих по условиям техники безопасности, а изоляция вторичной обмотки должна быть такой же, как и первичной;

б) малое значение напряжения короткого замыкания и соответственно большие токи короткого замыкания, например при замыкании точек aX (см. рис. 115, а) напряжение сети U_1 подводится к небольшой части витков Aa , которые обладают малым сопротивлением короткого замыкания;

в) незначительные коэффициенты трансформации (не выше 2), поскольку при коэффициентах трансформации выше 2 автотрансформаторы невыгодны.

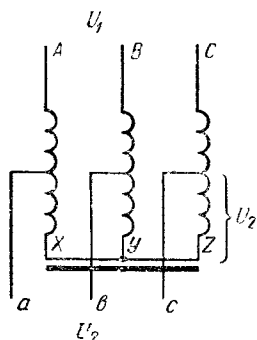
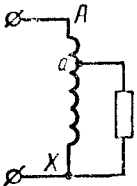


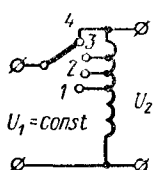
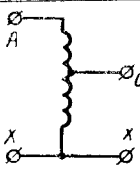
Рис. 119. Схема трехфазного автотрансформатора.

Автотрансформаторы

Определите коэффициент трансформации автотрансформатора, если его выходные клеммы подсоединены к одному из концов и к середине обмотки?	$k = 1$	1331
	$k = 2$	1018
	Для решения задачи недостаточно данных	1169
Определите ток нагрузки автотрансформатора, включенного в сеть с напряжением 220 В, если потребляемый ток 5 А, а напряжение на нагрузке 110 В	5 А	859
	10 А	1346
	15 А	1033
Какой ток протекает по той части витков обмотки, к которой подсоединена нагрузка, если I_1 — ток потребляемый автотрансформатором из сети, а I_2 — ток нагрузки автотрансформатора?	$I_p = I_1 - I_2$	1184
	$I_p = I_2 - I_1$	874
	$I_p = I_2 + I_1$	1362
Чему равен ток I_p при холостом ходе автотрансформатора?	$I_p = 0$	721
	$I_p = I_1$	1200
	$I_p = -I_1$	896
Какую часть обмотки автотрансформатора можно намотать тонким проводом? 	$A - a$	1047
	$a - x$	735
	Никакую	1216

Автотрансформаторы

Почему при равных мощностях потери в стали и меди автотрансформатора меньше, чем потери в трансформаторе?	Потому что размеры магнитопровода меньше	941
	Потому что часть мощности из первичной цепи во вторичную передается электрическим путем	1059
	Потому что часть обмотки наматывается тонким проводом	747

Где автотрансформаторы не применяют?	Для пуска синхронных и асинхронных двигателей	1232
	В лабораториях для плавного регулирования напряжения	924
	Для регулирования напряжения бытовых электроприборов	4075
	Для понижения напряжения с целью обеспечения безопасности	761
Как изменилось напряжение U_2 , если движок переместился из положения 4 в положение 2? 	Увеличилось	1247
	Уменьшилось	942
Можно ли этот автотрансформатор использовать а) для повышения; б) для понижения напряжения? 	Можно	1093
	а) можно; б) нельзя	776
	а) нельзя; б) можно	1264
Какой из приведенных недостатков присвоен автотрансформатору?	Невозможность применения в цепях трехфазного тока	958
	Электрическая связь первичной и вторичной обмоток	1109
	Большой ток короткого замыкания	791
	Малый коэффициент трансформации	1278

§ 2. Трансформаторы для регулирования напряжения

Для регулирования напряжения под нагрузкой применяют вольтодобавочные трансформаторы.

Вольтодобавочные устройства воздействуют на напряжение потребителя, создавая дополнительную э. д. с., которая складывается с основным напряжением или вычитается из него.

Вольтодобавочные трансформаторы могут быть нерегулируемыми и регулируемыми.

Нерегулируемые вольтодобавочные трансформаторы создают надбавку напряжения независимо от нагрузки в сети. Поэтому величину надбавки выбирают, учитывая как максимальную, так и минимальную нагрузку, с тем чтобы не было перенапряжения у потребителей.

На рисунке 120 приведена принципиальная схема нерегулируемого вольтодобавочного устройства. Первичные обмотки однофазных трансформаторов соединены в звезду и подключены к сети, а их вторичные обмотки, рассчитанные на большие токи, используют в качестве последовательных и включают в расщелку линии. Во вторичных обмотках создается добавочная э. д. с., которая складывается с напряжением сети: $U_2 = U_1 + E_{доб}$.

Регулируемые вольтодобавочные трансформаторы создают надбавку напряжения, зависящую от нагрузки в сети. На рисунке 121 показана принципиальная схема такого устройства.

Автотрансформатор включен на напряжение сети. С его вторичной обмотки снимают напряжение через переключатель Π и подают на первичные обмотки AX , BV и CZ последовательных трансформаторов $ПТ$. Токи в этих обмотках создают магнитные потоки в стальных сердечниках трансформаторов, благодаря чему во вторичных ax , by и cz обмотках последовательных трансформаторов индуцируются э. д. с., которые складываются с напряжением сети. Напряжение на выходе U_2 увеличивается на 5 или 10%, в зависимости от того, на каком зажиме стоит контакт переключателя. Конструктивно

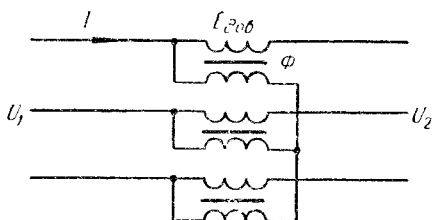


Рис. 120. Схема нерегулируемого вольтодобавочного трансформатора.

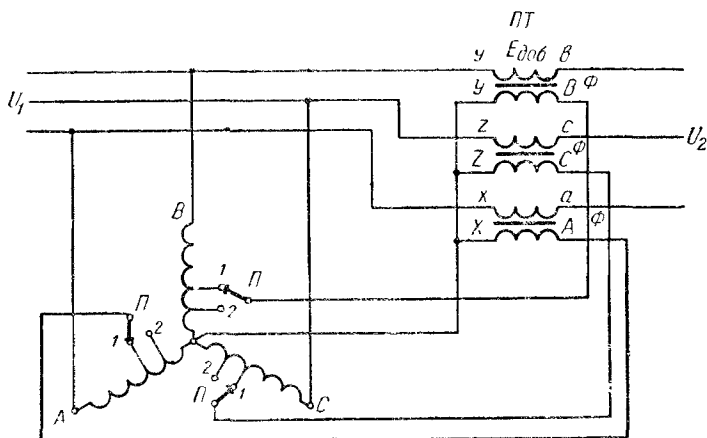


Рис. 121. Схема регулируемого вольтодобавочного трансформатора.

переключатель выполнен так, что при переключении с контакта 1 на контакт 2 без отключения нагрузки не происходит разрыва цепи первичной обмотки последовательного трансформатора.

КАРТОЧКА № 61 (218)

Трансформаторы для регулирования напряжения

Из за потерь напряжения в линии напряжение у потребителя значительно ниже номинального. Каким образом можно увеличить напряжение у потребителя?	Увеличить число витков первичной обмотки силового трансформатора	971
	Поставить вольтдобавочный трансформатор	1121
	Увеличить активную составляющую тока нагрузки	809
Трансформатор с напряжением 380,24 В используется в качестве вольтдобавочного. Какие обмотки этого трансформатора надо включить в линию последовательно с нагрузкой?	Обмотки низкого напряжения	1295
	Обмотки высокого напряжения	990
	Это безразлично	1140
Э. д. с. вольтдобавочного трансформатора складывается с э. д. с. трансформатора. Нагрузка увеличилась. Как надо изменить э. д. с. вольтдобавочного трансформатора, чтобы напряжение на нагрузке не изменилось?	Увеличить	828
	Уменьшить	1312
	Оставить без изменения	1095
Каким образом регулируется э. д. с. вольтдобавочного трансформатора?	При помощи специального автотрансформатора	1155
	За счет изменения схемы соединения обмоток	846
Подвижные контакты автотрансформатора переведены из положения 1 в положение 2. Как изменилась добавочная э. д. с.?	Увеличилась на 5%	1332
	Уменьшилась на 5 %	1019
	Уменьшилась на 10%	1170

§ 3. Сварочные трансформаторы

Сварочный трансформатор представляет собой однофазный понижающий трансформатор, напряжение вторичной обмотки которого при холостом ходе составляет 60—70 В.

Внешняя характеристика сварочных трансформаторов, как и вообще сварочных машин, должна быть круто падающей.

Промышленность выпускает сварочные трансформаторы нескольких типов.

Сварочный дуговой трансформатор типа СТЭ состоит из понижающего трансформатора и отдельного дросселя. Напряжение холостого хода на вторичной обмотке, равное 60—65 В, обеспечивает устойчивое горение дуги. Для изменения силы сварочного тока применяют дроссели с регулируемым воздушным зазором в стальном сердечнике (рис. 122). Вращая рукоятку, сдвигают верхнюю часть ярма дросселя относительно стержней сердечника и тем самым увеличивают или уменьшают воздушный зазор в стали сердечника. С увеличением воздушного зазора индуктивное сопротивление катушки дросселя уменьшается, а сварочный ток возрастает. Напротив, при уменьшении воздушного зазора индуктивное сопротивление катушки дросселя увеличивается, а сварочный ток становится меньше.

Сварочные трансформаторы типа СТАН-1 отличаются более круто падающей характеристикой и более высоким напряжением холостого хода, чем у трансформаторов типа СТЭ, что обуславливает устойчивое горение дуги при токах 25—50 А.

На сердечнике трансформатора расположены первичная и вторичная обмотки (рис. 123, а). Вторичная обмотка состоит из двух частей — основной и реактивной обмоток, которые соединены согласно. Основная вторичная обмотка намотана поверх первичной. Реактивная обмотка размещена на другом стержне и поэтому имеет большое индуктивное сопротивление рассеяния. Средний подвижный стержень выполняет роль магнитного шунта. При его передвижении изменяется магнитное сопротивление на пути потоков рассеяния, благодаря чему достигается плавное регулирование сварочного тока трансформатора (подобно тому, как это происходит в дросселе трансформатора типа СТЭ).

Трансформатор имеет две ступени регулирования сварочного тока, которые получают, переключая перемычки на щитке вторичной стороны трансформатора (рис. 123, б). Первая ступень рассчитана на относительно малую силу сварочного тока, так как при этом включена лишь половина вторичной обмотки и вся обмотка реак-

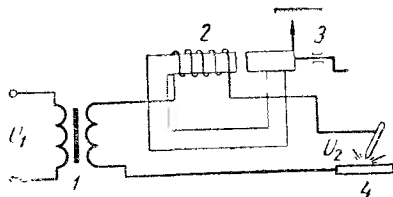


Рис. 122. Схема сварочного трансформатора с отдельным дросселем:
1 — сварочный трансформатор; 2 — дроссель; 3 — винт для перемещения ярма; 4 — свариваемая деталь.

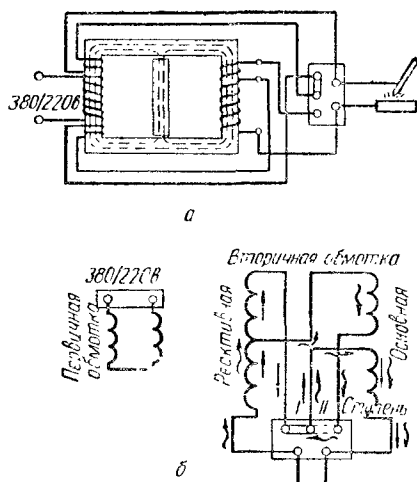


Рис. 123. Схема сварочного трансформатора типа СТАН-1:
а — принципиальная; б — электрическая.

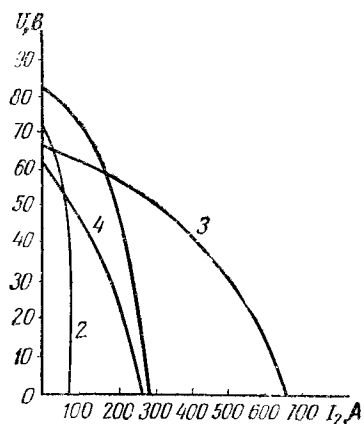


Рис. 124. Внешние характеристики трансформатора СТАН 1:

- 1 — I ступень, сердечник выдвинут;
- 2 — I ступень, сердечник вдвинут;
- 3 — II ступень, сердечник выдвинут;
- 4 — II ступень, сердечник вдвинут.

вает падение напряжения в катушке дросселя и уменьшает напряжение на дуге, поэтому сила сварочного тока изменяется мало.

Сварочный трансформатор СТАН 1 предназначен для сварки деталей электродами диаметром от 3 до 7 мм при токе от 60 до 480 А.

Сварочный трансформатор ТС-500 обладает повышенной индуктивностью рассеяния, регулируемой путем изменения расстояния между первичной и вторичной обмоткой. Катушки первичной обмотки неподвижны, а вторичной — подвижны.

В верхнюю планку крепления вторичной обмотки запрессовывается ходовая гайка, а верхняя планка крепления катушек первичной обмотки служит подпятником для ходового винта. При вращении ходового винта рукояткой, расположенной сверху трансформатора, в вертикальном направлении перемещается ходовая гайка зажимного устройства, и, следовательно, катушка вторичной обмотки, сближаясь с первичной катушкой или удаляясь от нее. Таким образом происходит плавное регулирование силы сварочного тока.

Катушки первичной и вторичной обмоток обычно соединены параллельно (рис. 125, а), при этом сила сварочного тока составляет 165—650 А. Когда возникает необходимость провести сварку на малых токах (40—165 А), катушки первичной и вторичной обмоток соединяют последовательно (рис. 125, б). В этом случае осуще-

тивной катушки, а вторая — на большую силу сварочного тока, поскольку при этом включена вся вторичная обмотка и лишь половина обмотки реактивной катушки. Путь тока во вторичной обмотке при включении ее на первую ступень показан на рисунке 123, б прямыми стрелками, а на вторую ступень — волнистыми стрелками.

Круто падающей внешней характеристикой сварочных трансформаторов (рис. 124) получается благодаря действию дросселя. Напряжение на зажимах вторичной обмотки складывается из напряжения на дуге и падения напряжения на реактивной катушке, которое зависит от величины сварочного тока. При уменьшении сопротивления дуги в сварочную цепь идет больший ток, что увеличи-

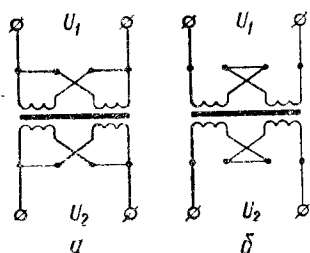


Рис. 125. Схема сварочного трансформатора типа ТС-500:

а — при параллельном включении обмоток; б — при последовательном включении обмоток.

ствляется грубая ступенчатая регулировка силы сварочного тока.

Недостатком однофазных сварочных трансформаторов является то, что они создают неравномерную нагрузку по фазам (на одну или две фазы, в зависимости от напряжения первичной обмотки).

Сейчас электропромышленность выпускает сварочные выпрямители ВКС-500-1, ВКСУ-500Х2, ВД-101, ВД-301, ВД-302 и др. Эти аппараты состоят из трехфазного понижающего трансформатора и выпрямителей, собранных по трехфазной мостовой схеме.

Рассмотрим вкратце устройство и работу сварочных выпрямителей типов ВД-101 и ВД-301, выполненных на кремниевых вентилях (рис. 126).

Выпрямительный блок и трансформатор охлаждаются при помощи вентилятора. Для защиты выпрямительного блока от коммутационных перепадов напряжений к выводам понижающего трансформатора подключены защитные цепочки из последовательно включенных активных сопротивлений R и конденсаторов C (рис. 126).

Круто падающая внешняя характеристика, необходимая для стабильного горения дуги при колебаниях руки сварщика, обеспечивается трехфазным понижающим трансформатором, обладающим повышенным индуктивным сопротивлением рассеяния.

Силу сварочного тока регулируют, соединяя обмотки понижающего трансформатора по схемам Y/Y (диапазон малых токов) и Δ/Δ (диапазон больших токов), для чего поворачивают рукоятку переключателя диапазонов тока.

Для плавного регулирования силы сварочного тока внутри каждого диапазона изменяют расстояния между обмотками. С этой целью катушки первичной обмотки передвигают вдоль сердечника при помощи рукоятки, находящейся сверху сварочного выпрямителя и соединенной с ходовым винтом.

При сближении обмоток их индуктивное сопротивление рассеяния уменьшается, а сила сварочного тока увеличивается, и наоборот

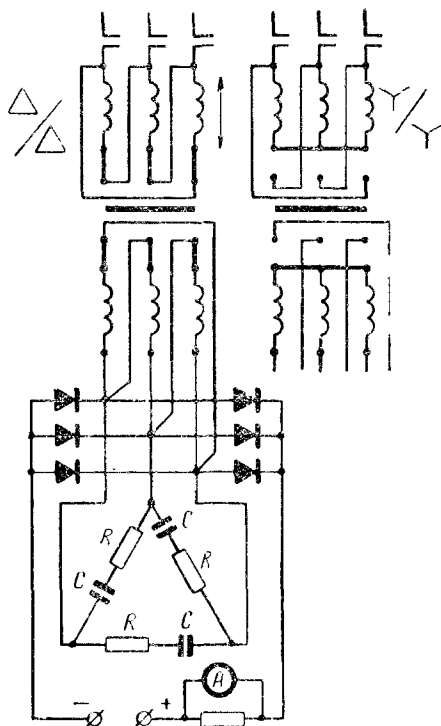


Рис. 126. Упрощенная принципиальная схема сварочных выпрямителей ВД 101 и ВД 301 (без цепей управления).

Ниже приведены основные технические характеристики выпрямителей:

	Выпрямители	
	ВД-101	ВД-301
Номинальный сварочный ток, А	125	300
Пределы регулирования сварочного тока, А		
а) диапазон малых токов	20—45	45—125
б) диапазон больших токов	45—125	125—300
Вторичное напряжение холостого хода, В	64	65
Номинальное рабочее напряжение, В	25	32
Погребляемая мощность, кВА	9	21

КАРТОЧКА № 62 (225)

Сварочные трансформаторы

Почему для сварки используются трансформаторы с круто падающей внешней характеристикой?	Чтобы ограничить ток короткого замыкания	860
	Чтобы получить на вторичной обмотке устойчивое напряжение 60—70В	1347
Как изменится ток сварочного трансформатора типа СТЭ, если воздушный зазор в магнитопроводе дросселя увеличить?	Увеличится	1034
	Уменьшится	1185
	Не изменится	875
Как осуществить плавное увеличение тока сварочного трансформатора СТАН-1?	Увеличить воздушный зазор в магнитопроводе дросселя	1363
	Увеличить воздушный зазор между сердечником и средним стержнем	722
	Уменьшить воздушный зазор между сердечником и средним стержнем	1201
Что надо сделать, чтобы увеличить ток трехфазного сварочного преобразователя типа ВД-301 а) ступенчато; б) плавно?	а) соединить обмотки треугольником, б) уменьшить расстояние между катушками	897
	а) соединить обмотки звездой, б) увеличить расстояние между катушками	1043
	а) и б) для ответа на вопрос нет достаточных данных	736
Какие выпрямители используются в сварочных преобразователях ВД 101 и ВД 301	Селеновые	1217
	Кремниевые	912
	Германиевые	1060

§ 4. Трехобмоточные трансформаторы

Трехобмоточные трансформаторы, в частности трансформаторы напряжением 110/35/10 кВ, схема соединения которых $\text{Y}/\Delta/\Delta$ — 11—11 или $\text{Y}/\text{Y}/\Delta$ — 0—11, весьма часто устанавливают на подстанциях сельскохозяйственного назначения.

Первичная обмотка трехобмоточного трансформатора создает магнитный поток в стальном сердечнике, который индуцирует э. д. с. E_2 и E_3 во вторичных обмотках, намотанных на тот же сердечник, что и первичная.

За номинальную принимают наибольшую мощность обмотки (обычно первичной).

Первичный ток трехобмоточного трансформатора равен геометрической сумме приведенных вторичных токов, т. е. если пренебречь током холостого хода, то

$$I_1 = -(I_2' + I_3'). \quad (100)$$

Мощность каждой вторичной обмотки составляет 66,7% номинальной мощности трансформатора, а иногда и 100%.

Опыт холостого хода проводят так же, как и для двухобмоточного трансформатора. Опыт короткого замыкания проводят трижды: 1) между обмотками ВН и СН; 2) между обмотками ВН и НН; 3) между обмотками СН и НН при разомкнутой третьей обмотке в каждом случае.

Применять трехобмоточные трансформаторы экономически выгодно, так как один трехобмоточный трансформатор заменяет два двухобмоточных.

КАРТОЧКА № 63 (306)

Трехобмоточные трансформаторы

Какие обмотки имеет трансформатор напряжением 110/35/10 кВ?	Одну первичную, две вторичные	748
	Две первичные, одну вторичную	1233
	Первичную и вторичную	925
Обмотки трансформатора соединены по схеме $\text{Y}/\Delta/\Delta$ — 11—11. Как сдвинуты по фазе линейные напряжения: а) первой и второй; б) второй и третьей обмоток?	а) 0°; б) 0°	1076
	а) 30°; б) 30°	762
	а) 0°; б) 30°	1248
	а) 30°; б) 0°	943
При опыте холостого хода трехобмоточного трансформатора	одна вторичная обмотка разомкнута	1064
	обе вторичные обмотки разомкнуты	777
	обе вторичные обмотки замкнуты накоротко	1265

При опыте короткого замыкания трехобмоточного трансформатора	одна вторичная обмотка замкнута накоротко, другая разомкнута	959
	обе вторичные обмотки замкнуты накоротко	1110
	обе вторичные обмотки разомкнуты	792
Можно ли изготовить четырех-, пяти- и вообще многообмоточный трансформатор?	Можно	1279
	Нельзя	972

§ 5. Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы служат для подключения разнообразных контрольно-измерительных приборов в сетях переменного тока, когда прямое включение невозможно или нецелесообразно. Кроме того, благодаря применению измерительных трансформаторов повышается безопасность обслуживания установок высокого напряжения.

Измерительные трансформаторы дают возможность расширить пределы измерения, что позволяет применять одни и те же измерительные приборы со стандартными пределами измерения при определении различных напряжений и токов.

Трансформаторы напряжения (рис. 127) служат для включения вольтметров, частотомеров и катушек напряжения измерительных приборов (счетчиков, ваттметров, реле и др.). При помощи этих приборов (трехфазных и однофазных) понижают подводимое к измерительным приборам напряжение. Практически рабочий режим трансформатора напряжения близок к режиму холостого хода.

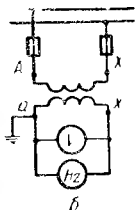
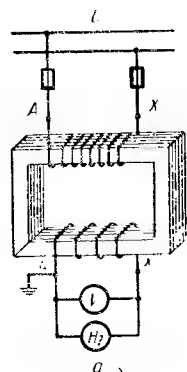


Рис. 127. Схема трансформатора напряжения:

а - принципиальная; б - условное обозначение.

Трансформаторы тока (рис. 128) применяют для включения амперметров и токовых катушек измерительных приборов и реле.

Первичную обмотку трансформатора тока включают в линию последовательно, а к его вторичной обмотке подключают измерительный прибор.

Так как сопротивление токовых катушек измерительных приборов относительно малое (меньше 1 Ом), то можно считать, что трансфор-

Измерительные трансформаторы

Для какой задачи не служат измерительные трансформаторы?	Обеспечение безопасности измерений в высоковольтных сетях	1122
	Расширение пределов измерений при боров	810
	Повышение точности измерительных приборов	1296
Какие измерительные трансформаторы необходимы для включения ваттметра в высоковольтную сеть?	Трансформатор тока	991
	Трансформатор напряжения	1141
	Трансформатор тока и трансформатор напряжения	829
В каком режиме работают: а) трансформатор тока; б) трансформатор напряжения?	а) в режиме холостого хода; б) в режиме холостого хода	1313
	а) в режиме короткого замыкания; б) в режиме короткого замыкания	1006
	а) в режиме короткого замыкания; б) в режиме холостого хода	1156
	а) в режиме холостого хода; б) в режиме короткого замыкания	847
Первичные обмотки измерительных трансформаторов включены в нагруженную высоковольтную сеть. Можно ли разомкнуть вторичные обмотки: а) трансформатора тока; б) трансформатора напряжения?	а) можно; б) нельзя	1333
	а) можно; б) можно	1020
	а) нельзя; б) можно	1171
Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала в измерительном трансформаторе заземляют	вторичную обмотку	861
	кожух	1348
	кожух и вторичную обмотку	1035

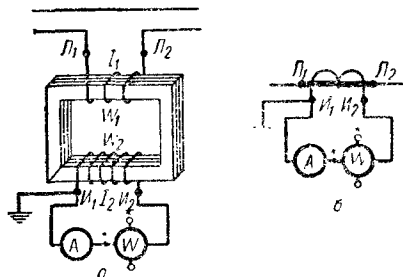


Рис. 128. Схема трансформатора тока;

а — принципиальная; б — условное обозначение.

Если же оставить вторичную обмотку трансформатора тока при нагрузке разомкнутой, то ток во вторичной обмотке и магнитный поток Φ_2 будут равны нулю, а так как размагничивающий поток равен нулю, то суммарным магнитным потоком будет магнитный поток первичной обмотки Φ_1 . Этот поток, зависящий от нагрузки, относительно велик. Он индуцирует во вторичной обмотке трансформатора э. д. с., представляющую опасность для жизни обслуживающего персонала, а кроме этого, при большой величине магнитного потока Φ_1 возрастают потери в стали, в результате чего сталь сильно нагревается, что может привести к выходу трансформаторов тока из строя.

Следовательно, нельзя оставлять разомкнутой вторичную обмотку включенного трансформатора тока. При снятии измерительного прибора для ремонта вторичную обмотку трансформатора тока нужно закорачивать.

Для безопасности обслуживающего персонала один из зажимов вторичной обмотки и стальной кожух трансформатора напряжения и трансформатора тока заземляют.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение устройства и работы специальных типов трансформаторов

Цель работы. Изучить устройство сварочных трансформаторов и автотрансформаторов.

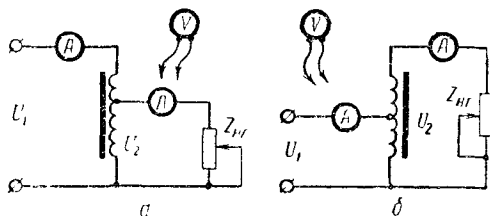


Рис. 129. Схемы исследования автотрансформаторов:

а — понижающего; б — повышающего.

П л а н р а б о т ы. 1. Ознакомиться с устройством автотрансформаторов и сварочных трансформаторов. Зарисовать в отчет их схемы и данные заводских щитков. Обратит внимание на способы регулирования силы сварочного тока.

2. Подобрать приборы, составить схему и включить автотрансформатор в сеть на нагрузку.

П о я с н е н и е к р а б о т е. Включить понижающий автотрансформатор в сеть и при помощи вольтметра измерить подведенное U_1 и вторичное напряжение U_2 (рис. 129, а). Нагрузить автотрансформатор нагрузочным сопротивлением $z_{нг}$ и записать значения тока в первичной обмотке и в цепи нагрузки.

Собрать схему для повышающего автотрансформатора (рис. 129, б) и провести аналогичный опыт.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ



Глава XV ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

§ 1. Принцип действия синхронного генератора

На электрических станциях применяют трехфазные синхронные генераторы переменного тока высокого и низкого напряжений.

Слово синхронный обозначает «одновременный». Это значит, что одновременно и в строгой математической зависимости с изменением скорости вращения изменяется частота тока. Эта зависимость определяется формулой

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}, \quad (101)$$

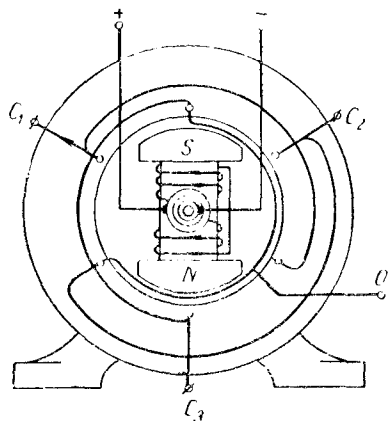
где n_1 — скорость вращения ротора генератора, об/мин;

f_1 — частота тока генератора, Гц;

p — число пар полюсов ротора генератора.

Синхронный генератор состоит из неподвижной части — статора, в пазах которого помещается трехфазная обмотка переменного тока, и вращающейся части — ротора, который представляет собой электромагнит (рис. 130).

В обмотки возбуждения ротора через щетки и кольца подается постоянный ток от возбудителя — машины постоянного тока или от какого-нибудь выпрямителя.



Ротор синхронного генератора, находящийся внутри статора, вращают первичным двигателем, при этом магнитное поле ротора пересекает витки трехфазной обмотки статора и индуцирует в них э. д. с. переменного тока.

В некоторых конструкциях синхронных генераторов обмотки полюсов неподвижны и укреплены на станине, а вращается трехфазная обмотка переменного тока, расположенная в пазах стального цилиндра, набранного из листов электротехнической стали. Существенный недостаток таких генераторов — наличие скользящего контакта, при помощи

Рис. 130. Принципиальная схема устройства трехфазного синхронного генератора.

которого снимают переменный ток, — ограничивает область их применения.

КАРТОЧКА № 63 (313)

Принцип действия синхронного генератора

Двухполюсный ротор синхронного генератора вращается со скоростью 3000 об/мин. Определите частоту тока	50 Гц	1186
	500 Гц	876
Статором называется	неподвижная часть генератора	1364
	та часть генератора, где индуцируется э. д. с.	723
	та часть генератора, где создается магнитный поток возбуждения	1202
Якорем называется	неподвижная часть генератора	898
	ротор генератора	1049
	та часть генератора, где индуцируется э. д. с.	737
	та часть генератора, где создается магнитный поток возбуждения	1218
Можно ли трехфазную обмотку синхронного генератора большой мощности расположить на роторе?	Можно	913
	Нельзя	1061
	Можно по нецелесообразно	749
Каким образом нельзя питать обмотку ротора синхронного генератора?	Постоянным током от специального генератора постоянного тока	1234
	Постоянным током от выпрямителей, включенных на зажимы синхронного генератора	926
	Переменным током, вырабатываемым в синхронном генераторе	1077

§ 2. Устройство синхронных генераторов

Статор синхронного генератора (рис. 131) состоит из чугунной станины — корпуса, внутри которого находится сердечник статора, собранный из отдельных, изолированных между собой лаком или тонкой бумагой листов электротехнической стали. В пазы сер-

дешника укладывают обмотку статора из медного изолированного провода.

Роторы синхронных генераторов могут быть двух типов — *явнополюсные* и *неявнополюсные*. Явнополюсными (рис. 132) выполняют роторы синхронных генераторов, рассчитанных на небольшие скорости вращения и обычно соединяемых с тихоходными гидротурбинами, и генераторов малых и средних мощностей.

Неявнополюсные роторы (рис. 133) применяют в высокоскоростных генераторах (3000 об/мин) и генераторах значительных мощностей, обычно соединяемых на одном валу с паровыми турбинами (турбогенераторы).

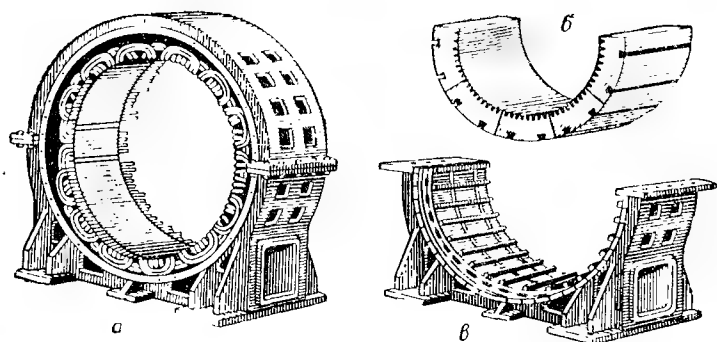


Рис. 131. Статор синхронной машины:
а — в собранном виде; б — часть сердечника, в — часть станины.

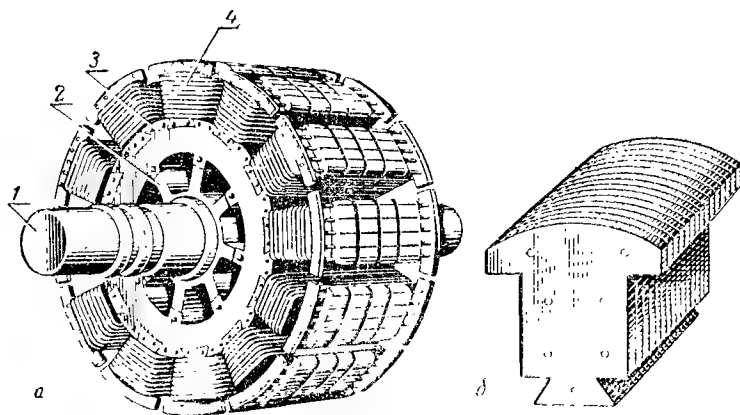


Рис. 132. Ротор явнополюсной синхронной машины:
а — общий вид; б — сердечник полюса; 1 — вал; 2 — демпферная звезда;
3 — обод; 4 — обмотка возбуждения.

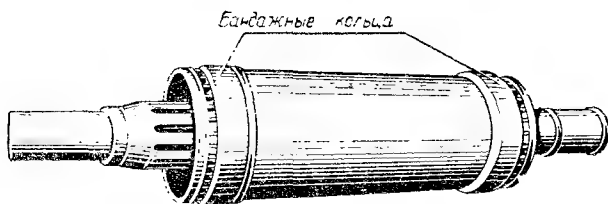


Рис. 133. Ротор неявнополюсного синхронного генератора.

Сердечники полюсов большей частью изготовляют из литой стали, а башмаки иногда из отдельных листов электротехнической стали. Обмотку полюсов выполняют из медных изолированных проводов. Для создания синусоидально изменяющейся э. д. с. необходимо получить синусоидальное распределение магнитной индукции в воздушном зазоре. Это достигается неравномерностью воздушного зазора между наконечником полюса и сталью статора: по краям полюсов воздушный зазор больше, чем под серединой полюса (рис. 134).

На вал генератора надевают два контактных кольца, изолированных от вала; к ним присоединяют выводы обмотки возбуждения ротора. На контактные кольца устанавливают щетки, а к щеткам подводят постоянный ток от возбудителя.

Чаще всего в качестве возбудителя применяют машину постоянного тока, которую называют *машинным возбудителем*. Кроме того, в ряде случаев для возбуждения используют ток, выпрямленный при помощи механических или полупроводниковых выпрямителей.

У большинства синхронных машин возбудитель расположен на одном валу с генератором (рис. 135); в последних конструкциях возбудитель располагают сверху статора синхронной машины (рис. 136).

Синхронные генераторы трехфазного тока изготовляют на следующие номинальные напряжения: 230, 400, 690, 3150, 6300, 10 500, 21 000 В.

Отечественная электропромышленность выпускает синхронные генераторы различной мощности, горизонтального и вертикального исполнений.

Генераторы мощностью до 400 кВА, а в некоторых случаях и более выпускаются на напряжение 400/230 В и, начиная с мощности 400 кВА, на напряжение 6300 В.

Горизонтальные генераторы типа СГ (С — синхронный, Г — генератор) выполняют с машинным возбудителем, с возбуждением

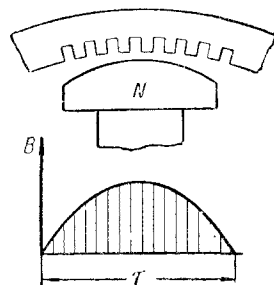


Рис. 134. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре между наконечником полюса и сталью статора.

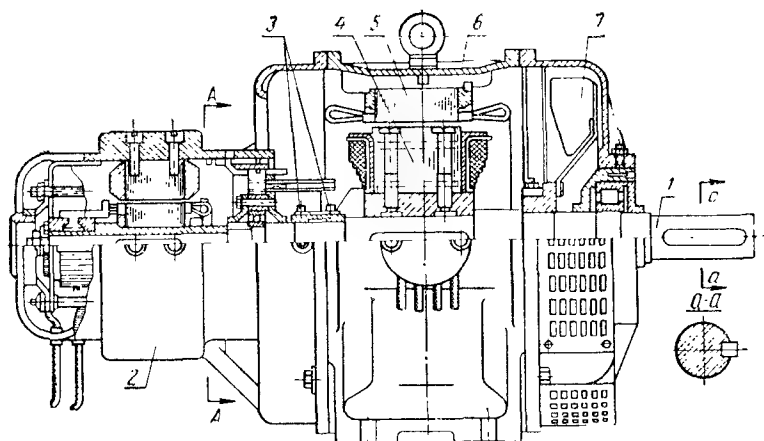


Рис. 135. Синхронный генератор серии С:
1 — вал; 2 — возбудитель; 3 — контактные
кольца; 4 — полюса ротора; 5 — сердечник
статора; 6 — станина; 7 — вентилятор.

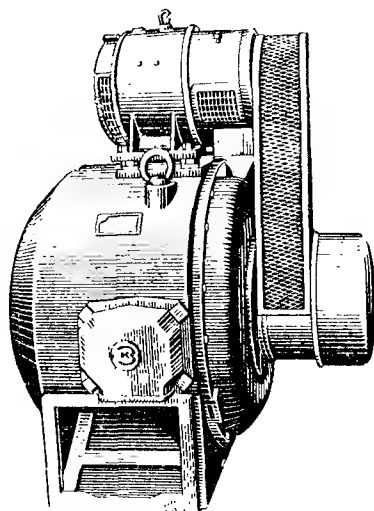
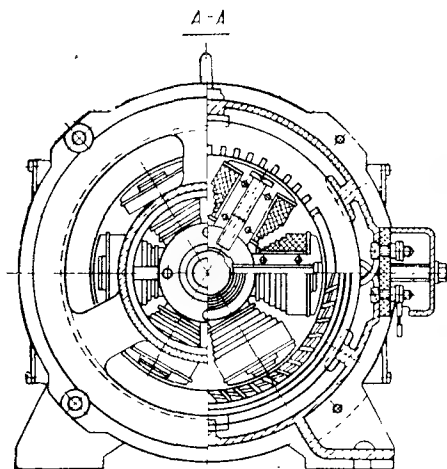


Рис. 136. Синхронный генератор
серии ГС.

от твердых выпрямителей (СГС), с возбуждением от механических выпрямителей (СГТ) и некоторые другие.

Вертикальные гидрогенераторы типа ВГС (В — вертикальный, Г — гидрогенератор, С — синхронный) изготовляют мощностью от 250 до 4800 кВА и более с машинными возбудителями.

Выпускаются также синхронные генераторы типа СГД мощностью до 1000 кВА, предназначенные для сопряжения с дизелями на одном валу.

Устройство синхронных генераторов

Почему станину генератора отливают в виде сплошной детали, а сердечник набирают из отдельных листов электротехнической стали?	Потому что сердечник используется для отвода тепла от обмотки	1249
	Потому что сердечник является магнитопроводом для вращающегося магнитного поля	944
Какие роторы применяются: а) в гидрогенераторах; б) в турбогенераторах?	а) явнополюсные; б) неявнополюсные	1095
	а) неявнополюсные; б) явнополюсные	778
Для обеспечения синусоидальной формы индуцируемой э. д. с. зазор между ротором и статором синхронного генератора делают	меньшим у середины полюсного наконечника, большим по краям	1266
	большим у середины полюсного наконечника, меньшим по краям	960
	строго одинаковым по всей окружности ротора	1111
На какое напряжение часто рассчитываются мощные синхронные генераторы?	400 В	793
	6300 В	1280
Укажите обозначение горизонтального синхронного генератора с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей. Расшифруйте марку каждого из указанных справа генераторов	СГД	973
	СГС	1123
	СГТ	811
	ВГС	1297

Глава XVI

ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 1. Основные элементы и определения

Самый распространенный тип обмотки статора машин переменного тока — двухслойная с укороченным шагом.

У машин небольшой мощности применяют полузакрытую форму паза (рис. 137, а), а обмотку, выполняемую в таких пазах, называют всыпной; у машин большой мощности и на более высокое напряжение применяют пазы открытой формы (рис. 137, б).

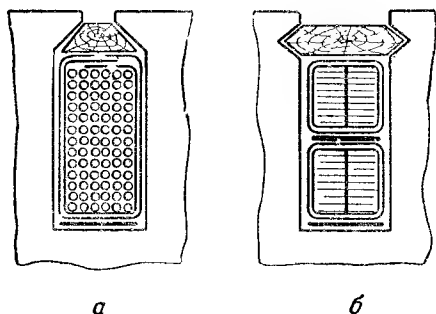


Рис. 137. Формы пазов:

а — полузакрытый на напряжение до 500 В;
б — открытый на напряжение свыше 500 В.

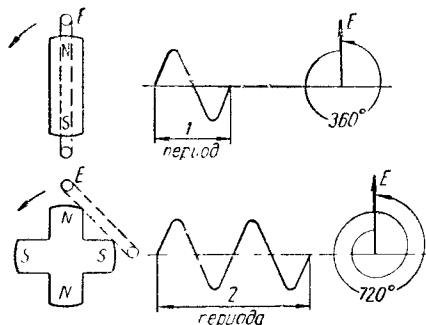


Рис. 138. К понятию об электрических и геометрических градусах.

Обмотки статора трехфазного синхронного генератора характеризуются следующими параметрами:

z — число пазов в стали статора;
 m — число фаз статора;
 p — число пар полюсов;
 q — число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{z}{2pm}; \quad (102)$$

τ — расстояние между серединами полюсов, $\tau = \frac{z}{2p}$;

y — шаг обмотки, ширина секции;

y_{ϕ} — фазовый шаг, показывающий расстояние между началами фаз:

$$y_{\phi} = \frac{2}{3} \tau, \quad (103)$$

y и y_{ϕ} выражают обычно в долях полюсного деления или числом пропущенных промежутков между пазами

$$\alpha = \frac{360p}{z}, \quad (104)$$

α — угол между пазами в электрических градусах.

Различают углы в геометрических и электрических градусах.

В общем случае один геометрический градус соответствует p электрических градусов.

В двухполюсной машине одному обороту соответствует один период, т. е. вектор э. д. с. тоже сделает один оборот (рис. 138). В многополюсной машине с числом полюсов $2p$ один оборот ротора соответствует p периодам, т. е. если ротор сделает один оборот, то вектор э. д. с. сделает p оборотов.

Полюсное деление τ всегда равно 180 электрическим градусам, поэтому $y = \frac{2}{3} \tau = \frac{2}{3} 180 = 120$ электрическим градусам.

Основные элементы и определения

Якорь трехфазного четырехполюсного синхронного генератора имеет 60 пазов. Выразите числом пазов: а) полюсное деление; б) фазовый шаг	а) 15; б) 20	1187
	а) 30; б) 10	877
	а) 15; б) 10	1365
Якорь трехфазного синхронного генератора имеет 90 пазов. Определите угол между пазами в электрических градусах	10°	724
	4°	1203
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	899
Якорь четырехполюсного синхронного генератора имеет 72 паза. Определите угол между пазами (в электрических градусах)	4°	1050
	10°	738
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1219
Четырехполюсный ротор синхронного генератора вращается со скоростью 3000 об/мин. С какой скоростью вращается вектор, соответствующий индуцированной э. д. с.?	50 об/с	914
	100 об/с	1062
Угол между пазами (в пространственных градусах) равен 4°. Ротор генератора имеет 4 полюса. Определите угол между пазами (в электрических градусах)	16°	750
	8°	1235
	4°	927

§ 2. Э. д. с. витка обмотки статора синхронного генератора

При вращении ротора, по обмоткам которого протекает электрический ток, магнитные силовые линии пересекают провода обмотки статора, и в них индуцируется э. д. с. переменного тока, средняя величина которой в одном проводнике может быть определена по формуле

$$E_{\text{пр.ср}} = B_{\text{ср}} l v \text{ В,}$$

где $B_{\text{ср}}$ — среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре, Т;

l — активная длина проводника обмотки статора, м;

v — скорость движения проводника, м/с.

Выразим линейную скорость v через число оборотов в минуту

$$v = \frac{\pi D n}{60}.$$

Согласно формуле

$$\pi D = 2\pi r,$$

следовательно

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2\pi r n}{60}.$$

Так как

$$\frac{r n}{60} = f, \quad \text{то} \quad v = 2\pi f.$$

Отсюда

$$E_{\text{пр. ср}} = l 2 f \tau B_{\text{ср}},$$

но

$$l \tau B_{\text{ср}} = \Phi,$$

поэтому

$$E_{\text{пр. ср}} = 2 f \Phi.$$

Нам необходимо найти действующее значение э. д. с. в проводе. Как известно из электротехники, действующее значение э. д. с.

$$E_{\text{пр}} = 1,11 E_{\text{пр. ср}},$$

где 1,11 — коэффициент формы кривой для синусоидальной э. д. с.

Так как виток состоит из двух проводов, то действующее значение э. д. с. витка

$$E_{\text{витка}} = 2 \cdot 1,11 \cdot 2 f \Phi;$$

$$E_{\text{витка}} = 4,44 f \Phi \text{ В.} \quad (105)$$

КАРТОЧКА № 68 (314)

Э. д. с. витка обмотки статора синхронного генератора

Укажите выражение закона электромагнитной индукции в формулировке Фарадея. Вспомните, какие законы выражают остальные формулы	$e = - \kappa \cdot \frac{d\Phi}{dt}$	1078
	$e = B l v$	763
	$F = I l B$	1250
	$U = I r$	945
Какое соотношение надо использовать, чтобы от выражения $v = \frac{\pi D n}{60}$ перейти к выражению $v = \frac{2\pi r n}{60}$?	$v = 2\pi f$	1096
	$\tau = \frac{\pi D}{2p}$	779

Какое соотношение надо использовать, чтобы от выражения $v = \frac{2p\tau n}{60}$ перейти к выражению $v = 2\pi f$?	$n = \frac{60f}{P}$	1267
	$\tau = \frac{\pi D}{2p}$	961
Какие подстановки надо использовать, чтобы на основании закона электромагнитной индукции получить выражение $E_{\text{вр. ср}} = 2f\Phi$?	$v = \frac{\pi D n}{60}; \quad v = 2\pi f$	1112
	$\tau = \frac{\pi D}{60}; \quad p n = 60f$	794
	$v = 2\pi f; \quad \tau B_{\text{ср}} = \Phi$	1281
Определите э. д. с., индуцируемую в витке обмотки якоря синхронного генератора, если $f = 50$ Гц, $\Phi = 0,02$ Вб	4,11 В	974
	4,44 В	1124
	Задача неопределенна, так как неизвестна скорость вращения ротора	812

§ 3. Однофазные однослойные обмотки

Рассмотрим *сосредоточенную обмотку*. Для этой обмотки $q = 1$; $y = \tau$. В такой обмотке все катушки под одной парой полюсов помещены в двух пазах, один из которых находится под северным полюсом, а другой — под южным. Общий вид сосредоточенной обмотки при числе полюсов $2p = 4$ и последовательном соединении катушек показан на рисунке 139, а, а при параллельном — на рисунке 139, б.

Формула э. д. с. для сосредоточенной обмотки имеет следующий вид:

$$E_{\text{соср}} = E_{\text{витка}} w = 4,44 w f \Phi \text{ В}, \quad (106)$$

где w — число последовательно соединенных витков обмотки.

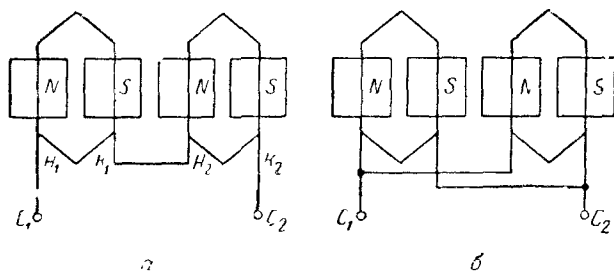


Рис. 139. Сосредоточенная однофазная однослойная обмотка:

а — последовательное соединение катушек; б — параллельное соединение катушек.

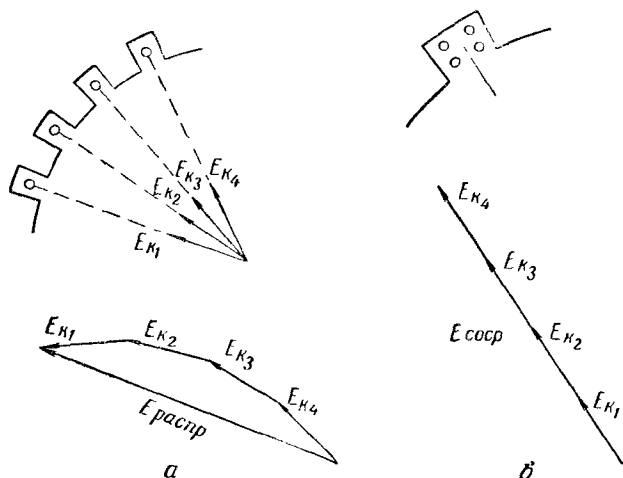


Рис. 140. Э. д. с. обмоток:
а — распределенной; б — сосредоточенной.

Однако сосредоточенной обмотку не выполняют, так как это мешает полностью использовать сталь машины и увеличивает ее размеры. В действительности обмотку распределяют равномерно по пазам, выполненным в стальном сердечнике статора. Такую обмотку называют *распределенной*. Для нее $q = 2, 3, 4$ и т. д.

В распределенной обмотке пазы сдвинуты друг относительно друга на угол α , на такой же угол будут сдвинуты векторы э. д. с., которые индуцируются в катушках, расположенных в этих пазах.

Суммарная э. д. с. группы катушек распределенной обмотки равна геометрической сумме э. д. с. катушек, составляющих эту группу (рис. 140, а):

$$\vec{E}_{распр} = \vec{E}_{K1} + E_{K2} + E_{K3} + E_{K4}.$$

В сосредоточенной обмотке суммарная э. д. с. группы катушек, размещенных в одном пазу под полюсом, равна алгебраической сумме э. д. с. катушек (рис. 140, б):

$$E_{соср} = E_{K1} + E_{K2} + E_{K3} + E_{K4} = E_K q.$$

Отношение э. д. с. распределенной обмотки к э. д. с. сосредоточенной обмотки называют коэффициентом распределения:

$$k_p = \frac{E_{распр}}{E_{соср}} = \frac{E_{распр}}{q E_K}. \quad (107)$$

Практически коэффициент распределения определяют по формуле для э. д. с. первой гармоники:

$$k_p = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (108)$$

Пример 1. Найти коэффициент распределения обмотки, если $q = 4$ и $\alpha = 15^\circ$.
Решение. Коэффициент распределения обмотки

$$k_p = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin \frac{4 \cdot 15}{2}}{4 \sin \frac{15}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7,5} = \frac{0,5}{4 \cdot 0,13} = \frac{0,5}{0,52} \approx 0,96.$$

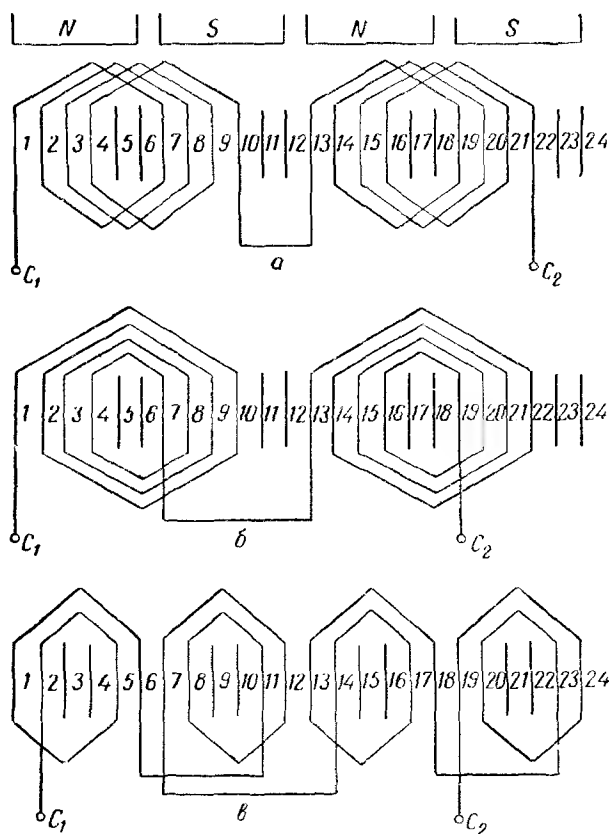


Рис. 141. Однофазная распределенная обмотка:
 а — с перекрещиванием лобовых соединений; б — без перекрещивания лобовых соединений; в — с укорочением лобовых соединений.

Поскольку коэффициент распределения меньше единицы, то э. д. с. в фазе распределенной обмотки будет меньше, чем в сосредоточенной. Это уменьшение величины э. д. с. отражает коэффициент распределения k_p , который необходимо ввести в формулу э. д. с. обмотки:

$$E_{\text{распр}} = 4,44 k_p w f \Phi \text{ В.} \quad (109)$$

Пример 2. Выполнить однофазную распределенную обмотку со следующими данными: $q = 4$; $2p = 4$; $z = 24$; $y = \tau$.

Решение. Шаг обмотки

$$y = \tau - \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} - 6.$$

Выполняем обмотку, начиная с паза 1. Для определения номера паза, в который следует уложить конец первой секции, к номеру паза, где находится начало секции, прибавляем y :

$$1 + y = 1 + 6 = 7.$$

Так как $q = 4$; то аналогично укладываем еще три секции в пазы 2—8; 3—9 и 4—10 (рис. 141,а).

После намотки группы катушек под одной парой полюсов определяем начало второй группы катушек под второй парой полюсов. Для этого к номеру паза, в котором лежит начало первой секции, прибавляем 2τ :

$$1 + 2\tau = 1 + 2 \cdot 6 = 13$$

Вторую группу катушек укладываем так же, как и первую.

В данной обмотке перекрещиваются лобовые соединения, что создает неудобства при ее выполнении. Эту же обмотку можно изготовить без перекрещивания лобовых соединений, намотав на шаблонах катушки так, чтобы они находились одна в середине другой (рис. 141,б). Для этого первую секцию укладывают в пазы 1—10 и далее 2—9, 3—8 и 4—7.

Чтобы укоротить лобовые соединения, эту же обмотку можно выполнить несколько иначе, не укорачивая ее шага. Для этого две катушки наматывают в одном направлении, а две другие — в противоположном (рис. 141,в), соединяя катушки так, чтобы их э. д. с. складывались. В оставшиеся пустые пазы укладывают пусковую обмотку однофазного асинхронного двигателя, а в однофазных синхронных генераторах в эти пазы забивают клинья.

КАРТОЧКА № 69 (283)

Однофазные однослойные обмотки

Может ли коэффициент распределения обмотки быть больше единицы?	Может	1298
	Не может	992
	Из рассмотренных в тексте соотношений это установить невозможно	1142
Определите шаг однофазной распределенной обмотки, если задано $q = 4$, $2p = 2$, $z = 24$, $y = \tau$	6	830
	12	1314
Определите паз, в котором лежит конец первой секции для рассмотренной выше обмотки	7	1007
	13	1157

Определите паз, в котором лежит начало второй секции для рассмотренной выше обмотки	2	848
	9	1334
Изменится ли величина э. д. с. обмотки с перекрещивающимися лобовыми соединениями, если ее намотать без перекрещивания лобовых соединений, одна секция внутри другой?	Значительно изменится	1021
	Не изменится	1172
	Немного изменится	862

§ 4. Трехфазные обмотки статора

Трехфазная обмотка статора составлена из трех однофазных обмоток, начала которых смещены на 120 электрических градусов, или $\frac{2}{3}\tau$.

В самом простом случае для выполнения трехфазной обмотки нужно иметь три катушки на каждую пару полюсов.

Пример 3. Выполнить трехфазную сосредоточенную обмотку, имеющую следующие данные: $q = 1$; $m = 3$; $2p = 4$; $z = 12$.

Решение. Рассчитаем обмотку:

$$y = \tau = \frac{z}{2p} = \frac{12}{4} = 3; \quad y_{\phi} = \frac{2}{3} \tau = \frac{2}{3} \cdot 3 = 2.$$

Начинаем укладывать обмотку первой фазы в паз 1 и выполняем ее аналогично однофазной обмотке.

Для определения номера паза, в который нужно уложить начало обмотки второй фазы, к номеру паза, где лежит начало обмотки первой фазы, прибавляем y_{ϕ} :

$$1 + y_{\phi} = 1 + 2 = 3.$$

Вторую и третью фазы выполняем аналогично первой (рис. 142). Начала обмоток обозначаем буквами C_1 , C_2 и C_3 , а концы — C_4 , C_5 и C_6 .

На рисунке 142 показана самая простая однослойная сосредоточенная обмотка. В действительности обмотки статоров синхронных генераторов выполняют распределенными двухслойными с укороченным шагом и с большим числом витков. Укорочение шага улучшает форму кривой э. д. с. и позволяет экономить медь в лобовых соединениях.

Пример 4. Рассчитать и вычертить трехфазную двухслойную обмотку с укороченным шагом, данные которой $z = 24$; $2p = 4$; $y = \frac{5}{6}\tau$ (укорочение шага на $\frac{1}{6}\tau$).

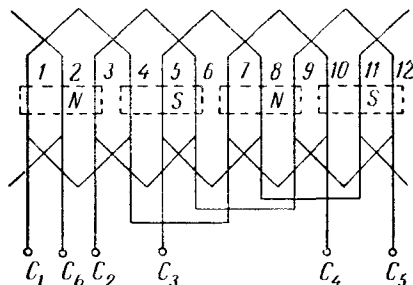


Рис. 142. Схема простейшей трехфазной однослойной обмотки статора.

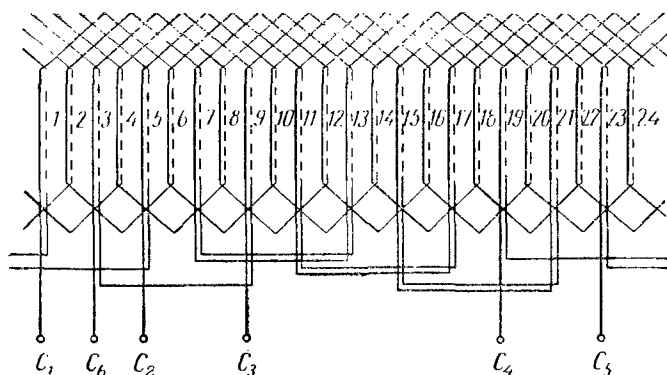


Рис. 143. Схема трехфазной двухслойной обмотки с укороченным шагом.

Решение. Число пазов на фазу

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2;$$

для двухслойных обмоток число секций удваивается, поэтому оно будет равно 4.

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6; \quad y = \frac{5}{6} \tau = \frac{5}{6} \cdot 6 = 5; \quad y_0 = \frac{2}{3} \tau = \frac{2}{3} \cdot 6 = 4.$$

Начало первой фазы укладываем в паз 1 (рис. 143), а конец первой секции — в паз 6. Поскольку число секций равно 4, то под этой парой полюсов наматываем еще одну секцию 2—7. Чтобы определить начало следующей группы катушек к началу первой фазы прибавляем $2\tau : 1 + 2 \cdot 6 = 1 + 12 = 13$. Если первая группа катушек намотана по направлению движения часовой стрелки, то вторую группу катушек наматывают уже против направления движения часовой стрелки. Если начало катушки лежит в пазу 13, то для определения конца секции от номера этого паза отнимают значение $y : 13 - 5 = 8$; конец секции лежит в пазу 8. Так как число секций равно 4, то под этой парой полюсов наматывают еще одну секцию 12—7.

Для определения начала третьей группы катушек первой фазы под второй парой полюсов к концу второй группы катушек прибавляем значение $\tau : 7 + 6 = 13$. Третью группу катушек начинаем укладывать в паз 13. В дальнейшем обмотку выполняют аналогичным образом. Для определения начала второй фазы к началу первой фазы прибавляем значение $y_0 : 1 + 4 = 5$. Вторую фазу начинаем укладывать в паз 5 и наматываем подобно первой.

Составляем обмоточную таблицу.

Фаза А	Фаза В	Фаза С
1—6; 2—7	5—10; 6—11	9—14; 10—15
13—8; 12—7	17—12; 16—11	21—16; 20—15
13—18; 14—19	17—22; 18—23	21—2; 22—3
1—20; 24—19	5—24; 4—23	9—4; 8—3

Вследствие укорочения шага обмотки величина э. д. с. обмотки уменьшается, так как при укороченном шаге одна сторона катушки

находится в магнитном поле с меньшим значением магнитной индукции B , в то время как противоположная сторона находится в магнитном поле с максимальным значением индукции $B_{\text{макс}}$ (рис. 144). Число, показывающее уменьшение э. д. с. обмотки вследствие укорочения шага, называют коэффициентом укорочения k_y .

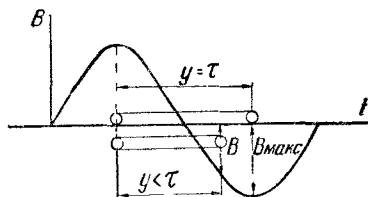


Рис. 144. Уменьшение э. д. с. обмотки вследствие укорочения шага.

Произведение коэффициента распределения на коэффициент укорочения называют обмоточным коэффициентом:

$$k_{\text{об}} = k_y k_{\text{распр.}} \quad (110)$$

Значение обмоточного коэффициента находится в пределах 0,90—0,95.

Формула фазной э. д. с. обмотки с учетом обмоточного коэффициента примет вид:

$$E_{\phi} = 4,44 k_{\text{об}} f w \Phi B. \quad (111)$$

Обозначив векторами пазовые э. д. с. активных сторон катушек, можно построить звезду пазовых э. д. с. обмотки. Для этого определим угол α между пазами в электрических градусах по формуле (104). Векторы э. д. с. в каждом пазу сдвинуты на угол α . Для трехфазной обмотки, изображенной на рисунке 143, этот угол

$$\alpha = \frac{360p}{z} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30^\circ \text{ эл.}$$

Построим звезду пазовых э. д. с. для этой обмотки. Отложим по горизонтали влево вектор э. д. с. в пазу 1. Так как шаг укорочен, то вектор э. д. с. второй активной стороны этой же катушки, находящейся в пазу 6, будет располагаться под углом $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$, который мы отсчитываем по часовой стрелке. Аналогично откладываем векторы э. д. с. в пазах 2 и 7 и т. д.

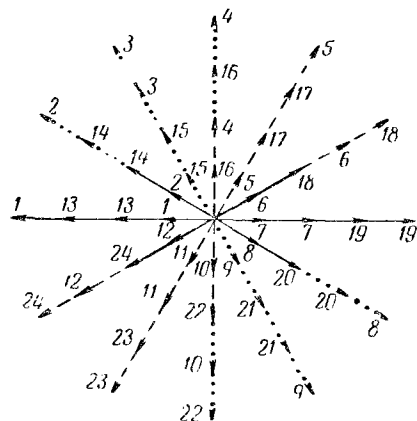


Рис. 145. Звезда пазовых э. д. с.

На рисунке 145 пазовые э. д. с. первой фазы изображены сплошной линией, второй фазы — штриховой линией, а третьей фазы — пунктиром.

Возле каждого вектора пазовой э. д. с. поставлен номер паза, в котором находится активная сторона обмотки.

Фазные обмотки статора в большинстве случаев соединяют в звезду, так как в случае соединения обмоток статора в треуголь-

ник при неравномерной нагрузке фаз тока третьей гармоники будут перегревать обмотку статора, даже когда нагрузка на генератор не превышает номинальной.

Действие пятой и седьмой гармоник ослабляют, укорачивая шаг обмотки.

КАРТОЧКА № 70 (227)

Трехфазные обмотки статора

В двухполюсном синхронном генераторе обмотки соседних фаз смещены	на 120 пространственных градусов	1349
	на 120 электрических градусов	1036
	на 120 электрических градусов, или, что то же самое, на 120 пространственных градусов	1188
В четырехполюсном синхронном генераторе обмотки соседних фаз смещены	на 60 пространственных градусов	878
	на 120 электрических градусов	1366
	на 120 электрических градусов или на 60 пространственных градусов	725
Известны данные трехфазной сосредоточенной обмотки синхронного генератора: $q = 1$, $m = 3$, $p = 3$, $z = 18$. Начало первой фазы в пазу 1.	3	1264
	4	900
В каком пазу лежит конец первой катушки первой фазы?	3	1051
	4	739
В условиях предыдущей задачи найдите а) сколько катушек имеет каждая фаза обмотки; б) в каком пазу лежит начало второй катушки первой фазы?	а) 2; б) 7	1220
	а) 3; б) 6	915
	а) 3; б) 7	1063

КАРТОЧКА № 71 (234)

Трехфазные обмотки статора

Известны данные трехфазной двухслойной обмотки с укороченным шагом: $z = 36$, $p = 3$, $m = 3$; $y = \frac{5}{6} \tau$.	а) 12; б) 2	751
	а) 6; б) 9	1236
	а) 6; б) 2	928

В условиях предыдущей задачи, найдите а) шаг обмотки; б) фазовый шаг	а) 5; б) 4	1079
	а) 3; б) 4	764
	а) 5; б) 6	1251
Условия предыдущей задачи. Начало первой фазы в пазу 1. Определите номера пазов, в которых уложены начала второй и третьей группы катушек первой фазы	13 и 25	946
	6 и 18	1097
Условия предыдущей задачи. Найдите номер пазы, в котором уложено начало второй фазы	3	780
	5	1268
Почему фазы обмотки трехфазного синхронного генератора предпочитают соединять звездой?	Чтобы увеличить э. д. с. генератора	962
	Чтобы устранить влияние третьей гармоники э. д. с.	1113
	Чтобы устранить влияние пятой гармоники э. д. с.	795

§ 5. Магнитное поле, создаваемое обмотками

Как известно из электротехники, если по трехфазной обмотке проходит трехфазный переменный ток, то в этой обмотке действием результирующей м. д. с. создается магнитное поле, вращающееся в пространстве (104) со скоростью $n_1 = \frac{60f_1}{p}$.

При симметричной нагрузке вращающееся магнитное поле постоянно по величине и равно $1,5 \Phi_m$, где Φ_m — амплитудное значение магнитного потока одной фазы.

Магнитное поле статора вращается в ту же сторону и с той же скоростью, что и ротор, так как скорости ротора и вращающегося магнитного поля статора определяются одной и той же формулой (104). Следовательно, вращающееся поле статора неподвижно относительно ротора.

Магнитное поле статора, которое называют полем якоря, имеет две составляющие — основное магнитное поле якоря Φ_d и магнитное поле

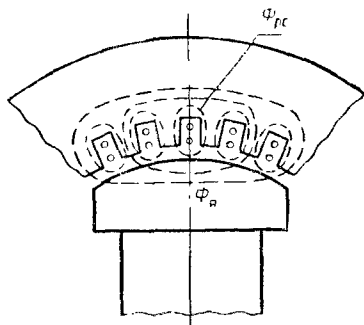


Рис. 146. Составляющие магнитного поля якоря.

рассеяния $\Phi_{\text{рс}}$, силовые линии которого замыкаются вокруг проводов обмотки якоря и в ротор не проходят (рис. 146).

Для получения вращающегося магнитного поля при однофазном токе на статор наматывают две катушки, начала которых сдвинуты относительно друг друга на 90° . Токи в этих катушках сдвинуты на угол, близкий к 90° , для чего в цепь одной из катушек включают емкость C или активное сопротивление R .

КАРТОЧКА № 72 (142)

Магнитное поле, создаваемое обмотками

В обмотках якоря трехфазного синхронного генератора индуцируются токи, частота которых равна 50 Гц. Индуктор генератора имеет два полюса. С какой скоростью вращается магнитное поле якоря?	50 об/мин	1282
	300 об/мин	975
	3000 об/мин	1125
В неподвижных обмотках якоря трехфазного синхронного генератора образуется вращающееся магнитное поле, скорость которого составляет 1500 об/мин. С какой скоростью вращается ротор генератора?	Задача неопределенна, так как неизвестна частота тока в обмотках якоря	813
	Задача неопределенна, так как неизвестно число полюсов ротора	1299
	3000 об/мин	993
	1500 об/мин	1143
Как изменить направление вращения вращающегося магнитного поля?	Изменить порядок следования фаз токов	831
	Изменить фазы токов во всех катушках на 180°	1315
Изменится ли направление вращения магнитного поля якоря синхронного генератора при изменении направления вращения индуктора?	Изменится	1068
	Не изменится	1158
Две катушки, сдвинутые в пространстве на угол 90° , питаются двухфазным током, частотой $f = 50$ Гц. Определите скорость вращения вращающегося магнитного поля	Для решения задачи недостаточно данных	849
	314 рад/с	1335
	314 об/с	1022

Пример 5. Определить э. д. с. фазы синхронного генератора с такими данными: $\omega = 60$, $f_1 = 50$ Гц, $k_{\text{об}} = 0,93$, $\Phi = 0,02$ Вб.

Решение. Находим э. д. с. фазы по формуле (111):

$$E_{\text{ф}} = 4,44 \cdot k_{\text{об}} \cdot f_1 \omega \Phi = 4,44 \cdot 0,93 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 0,02 \approx 247,7 \text{ В.}$$

Трехфазная двухслойная обмотка

Цель работы. Рассчитать и вычертить трехфазные обмотки.

План работы. Рассчитать и вычертить трехфазные двухслойные обмотки по следующим данным:

1) $z = 36$, $2p = 6$, укорочение шага $\frac{1}{6}\tau$;

2) $z = 36$, $2p = 4$, укорочение шага $\frac{2}{9}\tau$.

На схеме начертить развертку обмотки, нанести полюса, составить обмоточную таблицу и звезду пазовых э. д. с.

Пояснения к работе. При выполнении работы можно руководствоваться методикой, использованной в примере 4.

Глава XVII

СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И СХЕМЫ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

§ 1. Синхронный генератор с машинным возбудителем

Синхронный генератор с машинным возбудителем, полная схема которого приведена на рисунке 147, *а*, получил широкое распространение.

Обмотка статора генератора соединена в звезду. Нулевая точка генератора при напряжении 400/230 В заземляется. Соединение обмоток возбудителя выполняют на его доске зажимов. Зажим *ЯШ* реостата позволяет быстро снять напряжение с генератора, для чего в цепь обмотки возбуждения возбудителя вводят сопротивление реостата, а затем обмотку возбуждения замыкают накоротко. К зажиму

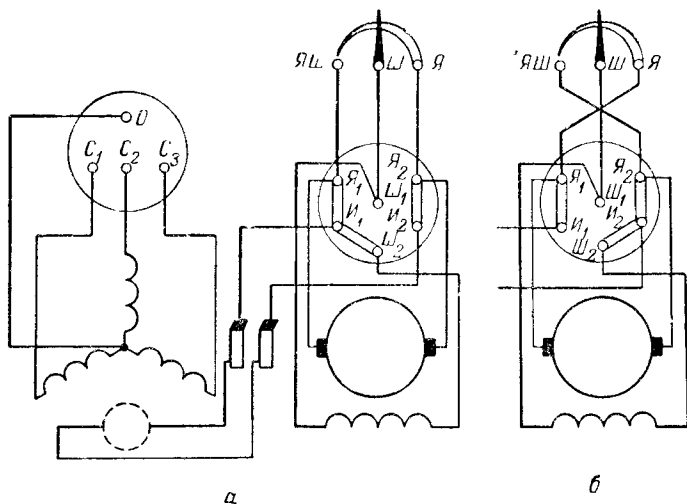


Рис. 147. Схема синхронного генератора с машинным возбудителем.

III реостата присоединяют свободный конец обмотки возбуждения возбудителя, а к зажиму H — провод от зажима H_2 на доске зажимов, не соединенного с шунтовой обмоткой. Зажимы на доске, от которых ток поступает в обмотку возбуждения ротора, обозначают буквами H_1 и H_2 (H — индуктор). Зажимы обмотки статора обозначают буквами C_1 , C_2 и C_3 , а выведенную нулевую точку — знаком 0.

При изменении направления вращения синхронного генератора необходимо переключить концы обмоток возбуждения так, чтобы направление тока в обмотке возбуждения возбудителя не изменилось (рис. 147, б).

Напряжение синхронного генератора регулируют реостатом в цепи обмотки возбуждения возбудителя. При этом изменяется напряжение на зажимах возбудителя, а вследствие этого ток в обмотке возбуждения ротора и величина магнитного потока полюсов, что вызывает изменение величины э. д. с., индуцируемой в обмотке статора.

Машинный возбудитель усложняет конструкцию генератора, увеличивает его массу и размеры, а наличие в возбудителе щеток и коллектора уменьшает надежность его работы, так как около 50% неисправностей синхронных генераторов относится к повреждению трущихся токоведущих частей возбудителя — коллектора и щеток.

КАРТОЧКА № 73 (297)

Синхронный генератор с машинным возбудителем

Как изменилось напряжение синхронного генератора, если напряжение на зажимах H_1 и H_2 , к которым подсоединен якорь возбудителя, увеличилось?	Увеличилось	1173
	Не изменилось	863
	Уменьшилось	1350
Если движок III реостата находится в положении $YIII$, то	на зажимах синхронного генератора максимальное напряжение	1037
	обмотка возбуждения возбудителя замкнута накоротко	1189
	цепь обмотки возбуждения возбудителя разомкнута	879
Движок III реостата перемещается из положения $YIII$ в положение Y . Как изменяется напряжение синхронного генератора?	Увеличивается	1367
	Не изменяется	726
	Уменьшается	1205

Перечислите все обмотки, с которыми соединена клемма $Я III$ при нормальной работе синхронного генератора	Обмотка якоря возбудителя, обмотка возбуждения возбудителя	901
	Обмотка якоря возбудителя, обмотка возбуждения возбудителя, обмотка возбуждения синхронного генератора	1052
	Обмотка возбуждения возбудителя, обмотка возбуждения синхронного генератора	740
	Обмотка якоря возбудителя, обмотка возбуждения синхронного генератора	1221
Что надо сделать при изменении направления вращения ротора синхронного генератора с машинным возбудителем?	Переключить с клеммы III_2 переключить на клемму II_2 , поменять местами провода, идущие к клеммам $Я$ и $Я III$	916
	Переключить III_2 перевести в положение II_2	1064
	Поменять местами провода, идущие к клеммам $Я$ и $Я III$	752

§ 2. Синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей

Генератор этого типа свободен от основных недостатков генератора с машинным возбудителем, о которых было сказано в предыдущем параграфе.

Промышленность выпускает синхронные генераторы типа ЕСС-М (рис. 148) с кремниевыми или германиевыми выпрямителями — диодами 3.

Самовозбуждение генератора происходит за счет остаточного магнетизма в полюсах ротора 2, благодаря чему при вращении ротора генератора в основной 1 и дополнительной 4 обмотках статора индуцируется небольшая э. д. с. Так как эта э. д. с. недостаточна для открытия диодов 3, то для обеспечения начального возбуждения в обмотки возбуждения 4 подается напряжение от трансформатора начального возбуждения 7 (рис. 148, а), а в других типах генераторов от аккумулятора 13 (рис. 148, б) или генератора постоянного тока.

Трансформатор начального возбуждения 7 отключают при появлении напряжения на генераторе (если его не отключить, то он может выйти из строя).

Регулирование напряжения осуществляется автоматически посредством стабилизирующего устройства, в котором имеются компенсирующие трансформаторы 10 и сопротивления 6.

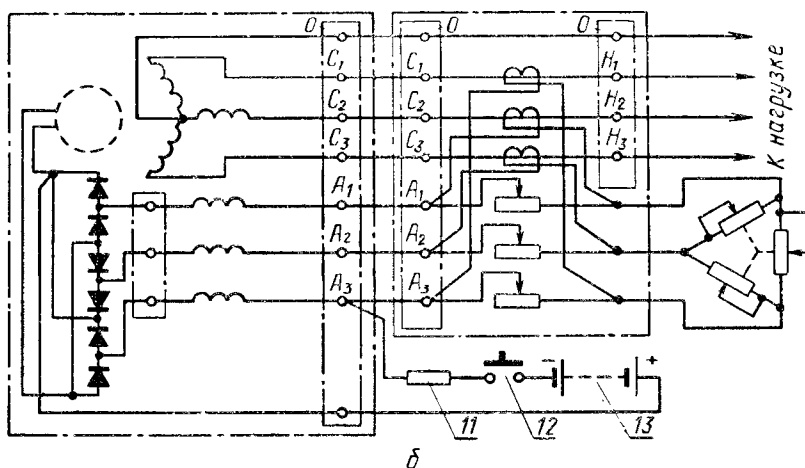
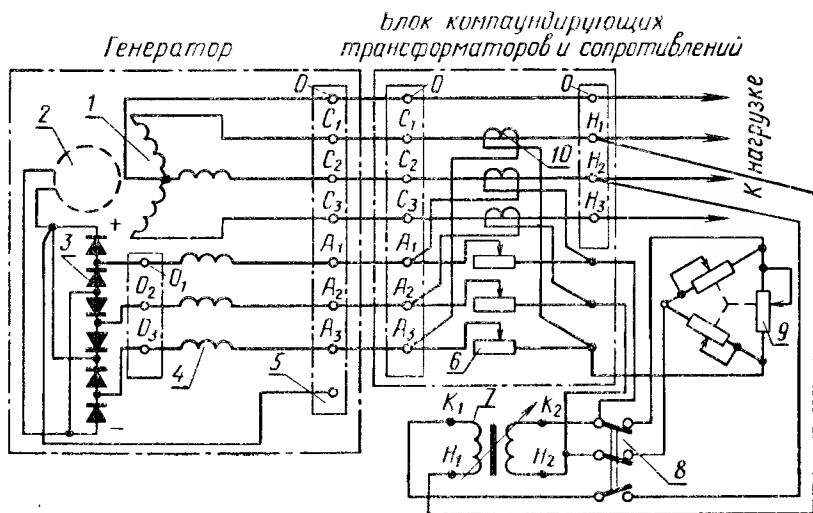


Рис. 148. Схема синхронного генератора типа ЕСС-М с возбуждением от твердых выпрямителей:

а — с начальным возбуждением от трансформаторов: 1 — основная обмотка статора; 2 — ротор генератора; 3 — блок кремниевых выпрямителей; 4 — дополнительная обмотка статора для возбуждения генератора; 5 — доска зажимов с выводами обмоток генератора; 6 — компаундирующие сопротивления; 7 — трансформатор начального возбуждения; 8 — выключатель; 9 — реостат уставки; 10 — компаундирующие трансформаторы; б — с начальным возбуждением от постороннего источника постоянного тока: 11 — ограничивающее сопротивление; 12 — кнопка; 13 — источник постоянного тока.

При прохождении тока нагрузки по первичным обмоткам компаундирующего трансформатора 10 (рис. 148, а) в его стали возникает магнитный поток и во вторичной обмотке индуцируется э. д. с., которая вызывает протекание тока по вторичной обмотке этого трансформатора и компаундирующим сопротивлениям. Ток создает на сопротивлении компаундирующую э. д. с., пропорциональную току нагрузки. Эта э. д. с. геометрически суммируется с э. д. с. вспомогательной обмотки. Таким образом, с усилением тока нагрузки ток возбуждения будет автоматически увеличиваться, вследствие чего напряжение на зажимах генератора будет поддерживаться постоянным.

Генератор снабжен реостатом уставки 9, который дает возможность изменять напряжение генератора в пределах 95—105% его номинального значения при режимах от холостого хода до номинальной нагрузки при номинальной скорости вращения.

§ 3. Синхронный генератор с возбуждением от механического выпрямителя

Механический выпрямитель работает по тому же принципу, что и коллектор машины постоянного тока.

На статоре генератора, кроме рабочей обмотки 1 (рис. 149), наматывают вспомогательную обмотку возбуждения 4 (по 5—8 витков на фазу), откуда ток поступает на механический выпрямитель 3. Механический выпрямитель в генераторах (мощностью 30 и 50 кВт и скоростью 1000 об/мин), выпускаемых советскими заводами, выполняют в виде разрезного контактного кольца, состоящего из 12

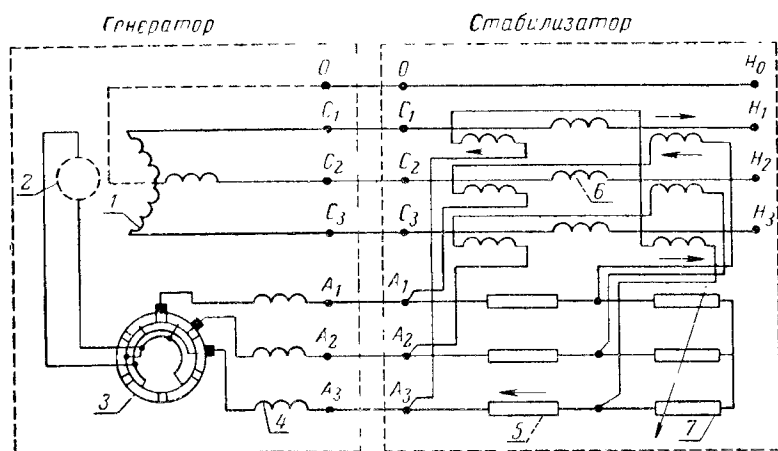


Рис. 149. Схема генератора типа ЕС с механическим выпрямителем: 1 — основная обмотка статора; 2 — обмотка ротора; 3 — механический выпрямитель; 4 — дополнительная обмотка статора; 5 — компаундирующее сопротивление; 6 — стабилизирующий трансформатор; 7 — регулируемое сопротивление уставки.

медных секторов (из них шесть рабочих и шесть нерабочих). Четные рабочие секторы соединяют между собой и припаивают к одному концу обмотки возбуждения ротора, а нечетные — к другому.

Щетки устанавливают на расстоянии 120 электрических градусов одна от другой. При трех парах полюсов ($p = 3$) щетки расположены на расстоянии 40 геометрических градусов одна от другой, так как один геометрический градус равен p электрическим градусам.

Максимальное число щеток, устанавливаемых по окружности разрезного контактного кольца, равно утроенному произведению пар полюсов, а минимальное — трем. Нерабочие секторы в контактном кольце ставят для того, чтобы щетка при переходе с одного рабочего сектора на другой не замыкала их накоротко. Ширина нерабочего сектора должна быть не менее ширины щетки.

Для автоматического регулирования напряжения при изменении нагрузки в этом генераторе применяют компаундирующее устройство, состоящее из трех трансформаторов тока 6 и шунтирующих сопротивлений 5 и 7.

Ток нагрузки I_1 , проходя по первичной обмотке трансформатора тока, образует в его стальном сердечнике магнитный поток Φ , вследствие чего во вторичной обмотке трансформатора тока индуцируется э. д. с., а поскольку обмотка замкнута на компаундирующее сопротивление, то по нему протекает вторичный ток I_2 . При прохождении тока по сопротивлению в последнем образуется компаундирующая э. д. с., которая направлена против э. д. с., вызывающей возникновение тока I_2 , но совпадает с э. д. с., индуцируемой в обмотках 4.

Вследствие этого, например, при увеличении нагрузки суммарная э. д. с. на щетках механического выпрямителя будет возрастать, что приведет к увеличению тока возбуждения, а при уменьшении нагрузки — к его снижению, что и требуется для поддержания напряжения постоянным при изменении нагрузки. Степень компаундирования можно изменять регулируемым сопротивлением уставки 7.

В настоящее время наши электромашинностроительные заводы выпускают генераторы типа ЕС-91-4С мощностью 50 кВт и ЕС-83-6С мощностью 30 кВт с механическими выпрямителями. В этих генераторах вторичную обмотку трансформатора тока включают по схеме «зигзаг», при которой улучшается работа стабилизатора напряжения в случае неравномерной загрузки фаз.

КАРТОЧКА № 74 (266)

Синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей. Синхронный генератор с возбуждением от механического выпрямителя

Возбудится ли синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей, если ротор сделать из магнитомягкого материала, у которого остаточный магнитный поток исчезающе мал?	Возбудится	1237
	Не возбудится	929

Нормально работающий синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей был отключен от сети и остановлен. Затем поменяли провода, идущие к щеткам, и раскрутили ротор до номинальной скорости. Возбудится ли генератор?	Возбудится	1080
	Не возбудится	765
Цепь возбуждения синхронного генератора питается от стабилизирующего трансформатора. Как изменится магнитный поток возбуждения при увеличении нагрузки генератора?	Увеличится	1252
	Не изменится	947
	Уменьшится	1098
Чем заменен машинный возбудитель в синхронном генераторе с возбуждением от механического выпрямителя?	Дополнительной обмоткой на статоре	1283
	Механическим выпрямителем — коллектором	976
	Дополнительной обмоткой на статоре и механическим выпрямителем — коллектором	1426
Каково назначение компаундирующего устройства?	Увеличивать э. д. с. генератора при увеличении нагрузки	814
	Уменьшать э. д. с. генератора при уменьшении нагрузки	1300
	Препятствовать изменению напряжения генератора при изменении нагрузки	994

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение устройства и схем возбуждения синхронных генераторов

Цель работы. Ознакомиться с устройством и схемами возбуждения синхронных генераторов.

П л а н р а б о т ы. По имеющимся в лаборатории плакатам и разрезам ознакомиться с устройством синхронных генераторов.

Составить схемы возбуждения синхронных генераторов с машинным возбудителем, с твердыми и механическим выпрямителями, запустить и возбудить их.

В отчет зарисовать схемы синхронных генераторов и переписать их номинальные данные с заводских щитков.

РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

§ 1. Реакция якоря при активной нагрузке

Как уже известно, ток нагрузки, протекая по проводам обмотки статора (якоря), создает магнитное поле. Большая часть магнитного потока якоря $\Phi_{\text{я}}$ проходит в сталь полюсов. Воздействие основного магнитного поля якоря на магнитное поле полюсов называют реакцией якоря.

Рассмотрим явление реакции якоря в синхронном генераторе с явно выраженными полюсами при различных видах нагрузки.

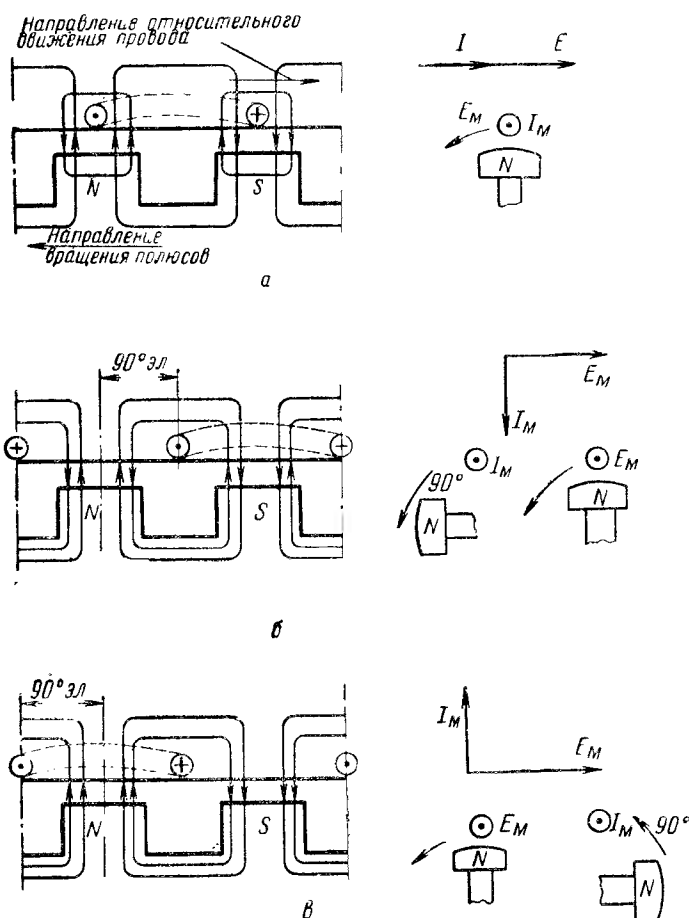


Рис. 150. Реакция якоря синхронного генератора: а — при активной нагрузке; б — при индуктивной нагрузке; в — при емкостной нагрузке.

При активной нагрузке ток и напряжение, а с некоторым приближением и э. д. с. нагруженного генератора совпадают по фазе. Максимальная э. д. с. индуцируется в проводе в тот момент, когда он находится под серединой полюса. В это же время наблюдается и наибольшее значение м. д. с. обмотки статора.

Изобразим на рисунке 150 две катушки одной фазы обмотки статора и полюса ротора в развернутом виде. Пользуясь правилом правой руки, можно определить направление тока в проводах обмотки якоря. При этом необходимо помнить, что если полюса движутся влево, то направление воображаемого движения проводника якоря будет противоположным.

Как видно из рисунка 150, а, магнитное поле якоря справа от провода его обмотки складывается с магнитным полем полюсов, а слева вычитается из него. Вследствие этого усиливается результирующее магнитное поле машины справа от проводника и ослабляется слева от него, т. е. магнитное поле машины искажается. Нужно отметить, что из-за насыщения стали машины увеличение поля будет меньшим, чем его уменьшение.

Магнитные силовые линии поля якоря при активной нагрузке проходят поперек полюса, поэтому и реакцию якоря при активной нагрузке называют *поперечной*.

КАРТОЧКА № 75 (256)

Реакция якоря при активной нагрузке

В каком случае ток в катушке обмотки якоря максимален, если цепь нагрузки имеет чисто активный характер?	Когда стороны катушки находятся над серединами полюсов	864
	Когда середина катушки находится над северным полюсом	1351
	Когда середина катушки находится над южным полюсом	1038
При каком положении катушки обмотки якоря в ней индуцируется максимальная э. д. с.?	Когда стороны катушки находятся под серединами полюсов	1190
	Когда середина катушки находится над северным полюсом	880
	Когда середина катушки находится над южным полюсом	1368
Магнитный поток реакции якоря при активной нагрузке и ненагруженном магнитоприводе	увеличивает поле под сбегающим краем полюса и настолько же уменьшает под набегающим	727
	увеличивает магнитное поле машины	1206
	уменьшает магнитное поле машины	902

Магнитный поток реакции якоря при активной нагрузке и насыщенном магнитопроводе	увеличивает поле под сбегающим краем полюса и настолько же уменьшает под набегающим	1053
	увеличивает магнитное поле машины	741
	уменьшает магнитное поле машины	1222
Поперечная реакция якоря в нормально рассчитанном генераторе (рабочая точка — на перегибе кривой намагничивания магнитной системы)	уменьшает магнитное поле машины	917
	искажает магнитное поле машины	1065
	искажает и уменьшает магнитное поле машины	753

§ 2. Реакция якоря при индуктивной и емкостной нагрузках

При чисто индуктивной нагрузке ток отстает от э. д. с. на 90° , то есть э. д. с. в проводнике достигнет максимума тогда, когда провод будет находиться под серединой полюса, а ток и м. д. с. якоря станут максимальными после того, как полюс пройдет за провод на 90 электрических градусов.

Как видно из рисунка 150, б, при индуктивной нагрузке магнитное поле якоря направлено против магнитного поля полюсов, т. е. поле якоря размагничивает полюса. Значит, с увеличением нагрузки результирующий магнитный поток машины вследствие реакции якоря уменьшается, что приводит к снижению напряжения на зажимах генератора. В этом случае магнитные силовые линии поля якоря проходят вдоль полюса, поэтому такую реакцию якоря называют *продольно-размагничивающей*.

При чисто емкостной нагрузке ток опережает э. д. с. на 90° , т. е. максимальное значение ток в проводе и м. д. с. якоря примут тогда, когда полюс не дойдет до провода на 90 электрических градусов, а когда провод расположится под серединой полюса, то в проводе индуцируется максимальная э. д. с.

Магнитное поле якоря складывается с магнитным полем полюсов (рис. 150, в). Значит, с увеличением емкостной нагрузки результирующий магнитный поток в машине вследствие реакции якоря увеличивается, что приводит к повышению напряжения на зажимах генератора. В этом случае реакцию якоря называют *продольно-намагничивающей*.

Реакция якоря при индуктивной и емкостной нагрузках

В каком случае ток в катушке обмотки якоря максимален, если цепь нагрузки имеет чисто индуктивный характер?	Когда стороны катушки находятся над серединами полюсов	1238
	Когда середина катушки находится над северным полюсом	930
	Когда середина катушки находится над южным полюсом	1081
Магнитный поток реакции якоря при индуктивной нагрузке	уменьшает поле под набегаящим краем полюса и настолько же увеличивает под сбегающим	766
	увеличивает магнитное поле машины	1253
	уменьшает магнитное поле машины	943
При увеличении индуктивной нагрузки напряжение на зажимах синхронного генератора	увеличивается	1099
	уменьшается	781
	не изменяется	1269
Магнитный поток реакции якоря при емкостной нагрузке	искажает магнитное поле машины	963
	увеличивает магнитное поле машины	1114
	уменьшает магнитное поле машины	796
При увеличении емкостной нагрузки напряжение на зажимах синхронного генератора	увеличивается	1284
	уменьшается	977
	не изменяется	1127

§ 3. Влияние реакции якоря на работу синхронного генератора

В действительности на электростанциях имеет место смешанная, активно индуктивная нагрузка, т. е. ток генератора включает в себя активную и индуктивную составляющие. Чем меньше составляющая активной мощности, тем ниже значение коэффициента мощности.

Синхронные генераторы предназначены для работы на сеть с коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8$. Более низкое значение коэффициента мощности в сети свидетельствует о повышении величины составляющей индуктивной нагрузки в общей мощности. Увеличение же индуктивной нагрузки приводит к усилению размагничивающего действия реакции якоря и снижению напряжения на зажимах

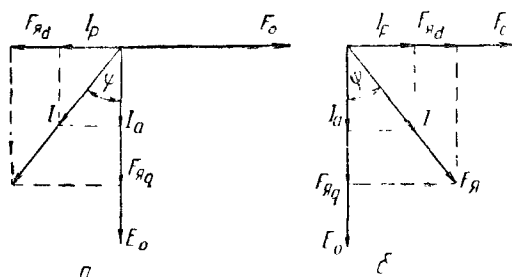


Рис. 151. Векторные диаграммы м. д. с. синхронного генератора:

а — при активно-индуктивной нагрузке; б — при активно-емкостной нагрузке.

напряжение генератора будет неустойчиво, а при больших толчках индуктивной нагрузки, что бывает при пуске мощных короткозамкнутых асинхронных двигателей, напряжение генератора может упасть до нуля.

Как известно, активная составляющая тока якоря создает поперечное поле якоря, которое искажает магнитное поле полюсов, а индуктивная составляющая — продольно размагничивающее поле якоря, которое размагничивает полюса. Величина каждой составляющей зависит от коэффициента мощности в сети.

В трехфазной синхронной машине вектор м. д. с. якоря вращается в том же направлении, что и ротор, т. е. синхронно с ним. Поэтому магнитный поток якоря складывается с магнитным потоком полюсов.

При активно-индуктивной нагрузке ток I отстает по фазе от э. д. с. E_o на угол ψ (рис. 151, а).

Изобразим вектор м. д. с. F_o полюсов, отложим отстающий от него на угол 90° вектор э. д. с. E_o , а от него также в сторону отставания вектор тока I на угол ψ . Ток статора создает м. д. с. $F_{я}$ якоря, вектор которой нарисуем совпадающим с вектором тока, пренебрегая углом потерь. Разложим вектор м. д. с. $F_{я}$ якоря на две составляющие: продольную $F_{ад}$ и поперечную $F_{яq}$.

Как видно из диаграммы, продольная м. д. с. создается реактивной составляющей тока якоря, и направлена она против м. д. с. полюсов, т. е. размагничивает полюса, а поперечная м. д. с. создается активной составляющей тока якоря и искажает магнитное поле полюсов.

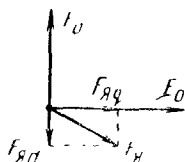
При активно-емкостной нагрузке ток I опережает э. д. с. E_o на угол ψ . В этом случае продольная м. д. с. $F_{ад}$ складывается с м. д. с. полюсов F_o , т. е. подмагничивает полюса (рис. 151, б).

генератора. Для того чтобы скомпенсировать размагничивающее действие реакции якоря при увеличении индуктивной нагрузки, нужно усилить ток возбуждения в обмотке ротора. Этот ток может достигать значений, превышающих номинальные при номинальной нагрузке генератора, что приводит к перегреву обмотки ротора генератора.

При низком коэффициенте мощности напря-

Влияние реакции якоря на работу синхронного генератора

Коэффициент мощности увеличивается	при увеличении активной составляющей мощности	815
	при увеличении индуктивной составляющей мощности	1301
	при увеличении емкостной составляющей мощности	995
Изменится ли э. д. с. генератора, если ток нагрузки генератора не изменился, а коэффициент мощности уменьшился?	Изменится	1144
	Не изменится	832
При увеличении активно индуктивной нагрузки магнитное поле полюсов ротора синхронного генератора	увеличивается	1316
	уменьшается	1009
	увеличивается и искажается	1159
	уменьшается и искажается	850
При увеличении активно-емкостной нагрузки магнитное поле полюсов ротора синхронного генератора	увеличивается	1336
	уменьшается	1023
	увеличивается и искажается	1174
	уменьшается и искажается	865
Какой нагрузке соответствует эта векторная диаграмма м. д. с. синхронного генератора?	Активной	1352
	Активно-индуктивной	1039
	Активно-емкостной	1191
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	881



Глава XIX

ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

§ 1. Уравнение э. д. с. и индуктивные сопротивления синхронной машины

Напряжение на зажимах синхронного генератора при нагрузке отличается от э. д. с. E_0 при холостом ходе вследствие действия магнитных потоков якоря и падения напряжения в его обмотках.

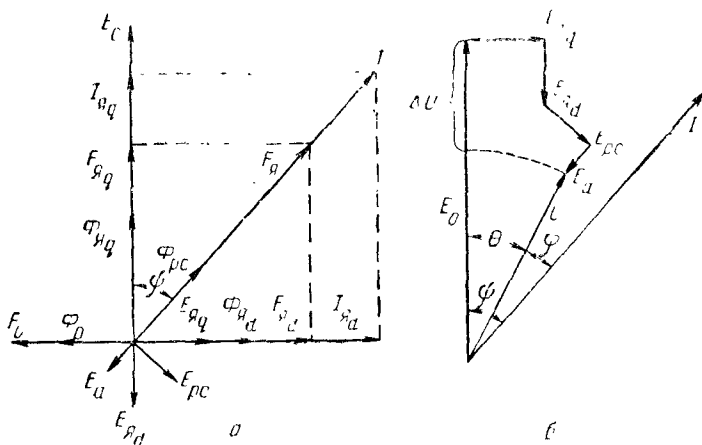


Рис. 152. Векторные диаграммы синхронного генератора с явно выраженными полюсами при активной и индуктивной нагрузке:

а — диаграмма м. д. с.; б — диаграмма э. д. с.

Напряжение на зажимах синхронного генератора в режиме нагрузки можно рассматривать как геометрическую сумму всех э. д. с., индуцируемых в якоре, при этом предполагают, что каждая м. д. с. создает свой магнитный поток, который индуцирует в обмотке соответствующую э. д. с.

Рассмотрим, какие м. д. с. действуют в синхронной машине и какие явления они вызывают.

Основная м. д. с. обмотки возбуждения ротора создает магнитный поток полюсов Φ_0 , который индуцирует э. д. с. генератора E_0 (рис. 152, а).

Разложим вектор м. д. с. $F_{я}$ якоря на поперечную $F_{яq}$ и продольную $F_{яd}$ составляющие. Эти составляющие создают поперечный $\Phi_{яq}$ и продольный $\Phi_{яd}$ магнитные потоки якоря, которые индуцируют в обмотке якоря э. д. с. $E_{яq}$ и $E_{яd}$; векторы э. д. с. отстают от соответствующих магнитных потоков на 90° .

Э. д. с. $E_{яq}$ поперечного магнитного потока якоря может быть определена по формуле

$$E_{яq} = I_q x_{яq}, \quad (112)$$

где $I_q = I \cos \psi$ — активная составляющая тока якоря по отношению к э. д. с. E_0 ;

$x_{яq}$ — индуктивное сопротивление поперечной реакции якоря.

Э. д. с. $E_{яd}$ продольного магнитного потока якоря может быть определена по формуле

$$E_{яd} = I_d x_{яd}, \quad (113)$$

где $I_d = I \sin \psi$ — реактивная составляющая тока статора по отношению к э. д. с. E_0 ;

$x_{яd}$ — индуктивное сопротивление продольной реакции якоря.

Кроме этих магнитных потоков, в машине существует магнитный поток рассеяния $\Phi_{рс}$, который совпадает по фазе с вектором тока I и индуцирует в обмотке якоря э. д. с. рассеяния $E_{рс}$. Вектор этой э. д. с. отстает от вектора магнитного потока на 90° .

Э. д. с. рассеяния определяют по формуле

$$E_{рс} = I x_{рс} B, \quad (114)$$

где $x_{рс}$ — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря.

Кроме этих э. д. с., ток I , проходя по обмотке якоря, создает на активном ее сопротивлении э. д. с. активного сопротивления E_a , вектор которой направлен против вектора тока I .

Геометрическая сумма этих э. д. с. (рис. 152, б) дает напряжение на зажимах синхронного генератора:

$$\vec{U} = E_0 + E_{яq} + E_{яd} + \vec{E}_{рс} + \vec{E}_a. \quad (115)$$

Полученное выражение (115) называют *уравнением э. д. с. синхронного генератора с явно выраженными полюсами*.

У синхронных генераторов с неявно выраженными полюсами сопротивления $x_{яq}$ и $x_{яd}$ приблизительно равны, так как воздушный зазор по окружности статора этих машин одинаков. Поэтому здесь нет необходимости рассматривать отдельно действие поперечной и продольной реакции якоря. В этом случае учитывают действие реакции якоря по ее полной м. д. с. $F_{я}$ и соответствующей ей э. д. с. $E_{я}$:

$$E_{я} = I x_{я} B, \quad (116)$$

где $x_{я}$ — индуктивное сопротивление реакции якоря.

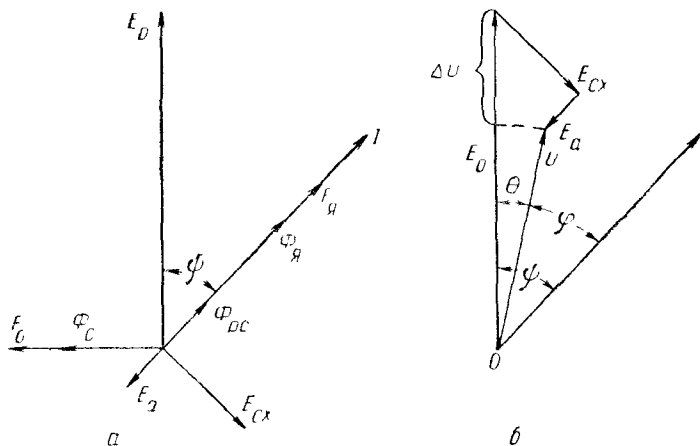


Рис. 153. Векторные диаграммы синхронного генератора с неявно выраженными полюсами при активно-индуктивной нагрузке:

а — диаграмма м. д. с.; б — диаграмма э. д. с.

Так как поток якоря $\Phi_{\text{я}}$ и поток рассеяния $\Phi_{\text{рс}}$ создаются одним и тем же током I , то индуктивное сопротивление $x_{\text{я}}$ реакции якоря и индуктивное сопротивление $x_{\text{рс}}$ рассеяния можно сложить:

$$x_{\text{сх}} = x_{\text{я}} + x_{\text{рс}}, \quad (117)$$

где $x_{\text{сх}}$ — синхронное сопротивление машины с неявно выраженными полюсами.

Тогда

$$Ix_{\text{сх}} = E_{\text{сх}}, \quad (118)$$

то есть э. д. с. реакции якоря и э. д. с. рассеяния учитывают вместе (рис. 153, а), а уравнение э. д. с. для синхронного генератора с неявно выраженными полюсами имеет следующий вид:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + E_{\text{сх}} + \dot{E}_{\text{я}} \text{ В.} \quad (119)$$

КАРТОЧКА № 78 (231)

Уравнение э. д. с. и индуктивные сопротивления синхронной машины

Как направлены по отношению к вектору тока: а) э. д. с. рассеяния; б) э. д. с. активного сопротивления?	а) совпадает по фазе; б) отстает по фазе на 90°	767
	а) отстает по фазе на 90° ; б) совпадает по фазе	1254
Определите э. д. с. рассеяния синхронного генератора, если ток нагрузки 10 А, а индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря 0,1 Ом	0,1 В	949
	1 В	1100
Определите э. д. с. магнитного потока якоря синхронного генератора, если ток нагрузки 10 А, а индуктивное сопротивление реакции якоря 0,3 Ом	1 В	782
	2 В	1270
	3 В	964
Определите $E_{\text{сх}}$ при $E_{\text{рс}} = 1$ В и $E_{\text{я}} = 3$ В	2 В	1115
	4 В	797
	Задача неопределенна, так как неизвестен ток нагрузки	980
	Задача неопределенна, так как неизвестно взаимное расположение векторов $\dot{E}_{\text{рс}}$ и $\dot{E}_{\text{я}}$	978

Укажите уравнение, которое содержит ошибку	$\vec{E}_\pi = E_{\pi q} + E_{\pi d}$	1128
	$E_{cx} = E_{\pi q} + E_{\pi d} + E_{pc}$	1129
	$U = E_0 + E_{cx} + E_{pc} + E_a$	816
	$\vec{U} = E_0 + E_\pi + \vec{E}_{pc} + E_a$	1302

§ 2. Векторная диаграмма синхронного генератора с явно выраженными полюсами

На основании уравнения э. д. с. (115) построим векторную диаграмму для синхронного генератора с явно выраженными полюсами, работающего на активно-индуктивную нагрузку, т. е. с отстающим током I .

Векторную диаграмму строим, исходя из диаграммы м. д. с. (см. рис. 152, а). Откладываем вектор E_0 и под углом φ к нему вектор I . Далее от конца вектора E_0 откладываем векторы э. д. с. $E_{\pi q}$, $E_{\pi d}$, E_{pc} и E_a (рис. 152, б). Соединив конец вектора E_a с точкой O , получим вектор напряжения U , который равен геометрической сумме векторов э. д. с.

Угол между вектором тока и вектором напряжения обозначим как φ , а угол между векторами э. д. с. E_0 и напряжения U как θ .

Из диаграммы видно, что продольная составляющая реакции якоря уменьшает э. д. с. якоря, а поперечная сдвигает вектор напряжения по фазе.

Так как активно-емкостной нагрузки в действительности практически не встречается, то нет необходимости строить векторную диаграмму для этого случая, однако следует сказать, что при работе синхронного генератора с опережающим током напряжение с увеличением нагрузки повышается, так как продольная составляющая реакции якоря намагничивает машину.

Векторную диаграмму, изображенную на рисунке 152, б, называют диаграммой Блонделя или основной диаграммой э. д. с.

Если вычесть из вектора э. д. с. E_0 вектор напряжения U , то получим величину изменения напряжения ΔU генератора в режиме холостого хода. Если при нагрузке напряжение на зажимах генератора было равно U , то после отключения нагрузки оно станет равным E_0 , т. е. увеличится на величину ΔU .

Целью построения этой диаграммы и является определение величины ΔU для синхронного генератора.

§ 3. Векторная диаграмма синхронного генератора с неявно выраженными полюсами

На основании уравнения э. д. с. (119) строят векторную диаграмму для синхронного генератора с неявно выраженными полюсами (рис. 153, б), работающего на активно-индуктивную нагрузку, т. е. с отстающим током I .

Векторную диаграмму строим, используя диаграмму м. д. с. (рис. 153, а). Для этого откладываем вектор э. д. с. E_0 , а под углом ψ к нему — вектор тока I . От конца вектора E_0 перпендикулярно к вектору тока откладываем вектор $E_{сх}$, а от конца вектора $E_{сх}$ — вектор E_a параллельно вектору тока I , но в противоположном направлении. Соединив конец вектора E_a с точкой 0, находим вектор напряжения U .

Так же, как и в предыдущей диаграмме, определяем ΔU генератора в режиме холостого хода.

КАРТОЧКА № 79 (207)

Векторная диаграмма синхронного генератора с явно выраженными полюсами. Векторная диаграмма синхронного генератора с неявно выраженными полюсами

Укажите уравнение э. д. с. синхронного генератора с явно выраженными полюсами	$\dot{U} = E_0 + E_{сх} + E_a$	996
	$U = E_0 + \vec{E}_a + \vec{E}_{pc} + E_a$	1145
	$U = \vec{E}_0 + \vec{E}_{иg} + \vec{E}_{ид} + E_{pc} + E_a$	833
Ток синхронного генератора отстает по фазе от э. д. с. E_0 на 30° , от напряжения на зажимах генератора — на 20° . На какой угол сдвинуты по фазе э. д. с. E_0 и напряжение генератора?	10°	1317
	20°	1010
	30°	1160
Определите угол сдвига по фазе между э. д. с. E_0 и напряжением на зажимах генератора, если $\psi = -40^\circ$; $\varphi = 30^\circ$	10°	851
	70°	1337
Напряжение на зажимах синхронного генератора при холостом ходе 240 В, при номинальной нагрузке 230 В. Чему равно ΔU ?	10 В	1024
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1175
Укажите уравнение э. д. с. синхронного генератора с неявно выраженными полюсами	$\dot{U} = E_0 + \vec{E}_{сх} + \vec{E}_a$	882
	$U = E_0 + \vec{E}_a + \vec{E}_{pc} + \vec{E}_a$	1369
	$U = E_0 + \vec{E}_{иg} + E_{ид} + E_{pc} + E_a$	728

§ 4. Векторная диаграмма синхронного генератора с учетом насыщения стали

В построенных нами векторных диаграммах (см. рис. 152, б и 153, б) не учтено насыщение стали машины.

Для построения диаграммы э. д. с. с учетом насыщения стали необходимо иметь характеристику холостого хода генератора и значения активного сопротивления r обмотки статора, индуктивного сопротивления $x_{\text{рс}}$ рассеяния обмотки статора и м. д. с. $F_{\text{я}}$ реакции якоря, выраженную числом ампер-витков обмотки якоря. При построении этой диаграммы м. д. с. реакции якоря не раскладывают на продольную и поперечную составляющие, так как не учитывают разницы между генераторами с явно и неявно выраженными полюсами.

Изменение напряжения определяют, предполагая, что генератор работает при номинальных значениях напряжения $U_{\text{н}}$, тока нагрузки $I_{\text{н}}$, коэффициента мощности $\cos \varphi_{\text{н}}$ и частоты f и что после отключения всей нагрузки ток возбуждения $I_{\text{в}}$ и частота f тока генератора не изменяются.

Характеристикой холостого хода синхронного генератора называют зависимость напряжения генератора от тока возбуждения или от ампер-витков обмотки возбуждения при постоянной частоте и токе нагрузки, равном нулю:

$$U_0 = E_0 = f(I_{\text{в}}) \quad \text{при} \quad f = \text{const} \quad \text{и} \quad I_{\text{нг}} = 0.$$

На рисунке 154, а представлена схема для снятия характеристики холостого хода, а на рисунке 154, б — сама характеристика.

С увеличением тока возбуждения напряжение генератора сначала растет почти прямо пропорционально ему, а затем по мере увеличения насыщения стали машины кривая делается более пологой. Вследствие наличия остаточного магнетизма в полюсах характеристика начинается не с нуля.

При построении векторной диаграммы (рис. 155) отложим вектор тока $I_{\text{н}}$ под углом φ — вектор напряжения $U_{\text{н}}$, параллельно вектору тока — вектор падения напряжения $I r$ на активном сопротивлении обмотки статора и перпендикулярно к вектору тока падение напряжения $I_{\text{н}} x_{\text{рс}}$ на индуктивном сопротивлении рассеяния. Замыкающий вектор OB представляет собой величину э. д. с. $E_{\text{нг}}$ нагруженного генератора.

Но э. д. с. нагруженного генератора $E_{\text{нг}}$ индуцируется результирующей м. д. с., которая равна геометрической сумме м. д. с. (ампер-витков) полюсов $A w_0$ и м. д. с. якоря $A w_{\text{я}}$:

$$\overline{A w_{\text{р}}} = \overline{A w_0} + \overline{A w_{\text{я}}}. \quad (120)$$

Вектор результирующей м. д. с. $A w_{\text{р}}$ опережает вектор э. д. с. $E_{\text{нг}}$ на 90° , а величину этих ампер-витков определим по характеристике

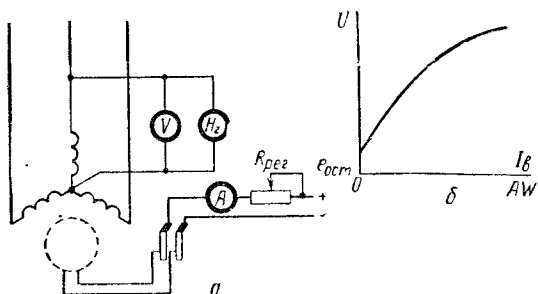


Рис. 154. Характеристика холостого хода синхронного генератора:

а — схема для снятия характеристики; *б* — характеристика.

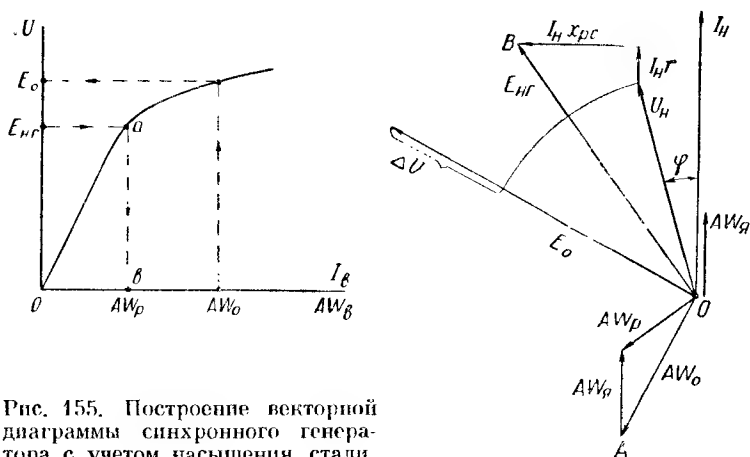


Рис. 155. Построение векторной диаграммы синхронного генератора с учетом насыщения стали.

холостого хода (рис. 155). Для этого на оси ординат отложим известную нам из векторной диаграммы величину э. д. с. $E_{нг}$, проведем горизонтальную линию до встречи с характеристикой холостого хода (точка *а*) и из точки *а* опустим перпендикуляр на ось абсцисс. Отрезок *оа* выразит величину вектора результирующей м. д. с. генератора $Aи_p$. Этот вектор откладываем перпендикулярно к вектору $E_{нг}$ в сторону опережения. Теперь известны вектор результирующих ампер-витков $Aи_p$ и вектор ампер-витков $Aи_н$ реакции якоря, заданный условием. Вектор ампер-витков реакции якоря совпадает с направлением вектора тока $I_н$.

Найдем вектор ампер-витков полюсов $Aи_p$. Перенесем параллельно самому себе вектор ампер-витков $Aи_н$ реакции якоря так,

чтобы конец его совпал с концом вектора Aw_p . Замыкающий вектор OA и будет представлять вектор ампер-витков Aw_0 полюсов. Зная величину ампер-витков Aw_0 полюсов, по характеристике холостого хода находим э. д. с. E_0 холостого хода генератора. Для этого откладываем вектор э. д. с. E_0 перпендикулярно к вектору ампер-витков Aw_0 полюсов в сторону отставания. Если из э. д. с. E_0 вычесть напряжение U_n , то получим изменение напряжения ΔU генератора после отключения всей нагрузки.

КАРТОЧКА № 80 (385)

Векторная диаграмма синхронного генератора с учетом насыщения стали

Укажите уравнение э. д. с., по которому строится векторная диаграмма для синхронного генератора с явно выраженными полюсами (без учета насыщения стали)	$\vec{U} = E_0 + E_{cx} + E_a$	931
	$\vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{E}_a + E_{pc} + E_a$	1082
	$\vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{aq} + E_{nd} + E_{pc} + \vec{E}_a$	768
Можно ли сказать, что характеристика холостого хода подобна кривой намагничивания магнитной цепи генератора?	Можно	1255
	Нельзя	950
Дана характеристика холостого хода синхронного генератора. Какой точке соответствует большее насыщение магнитной цепи машины? 	A	1101
	B	783
	C	1271
	Основываясь только на характеристике холостого хода, ответить на вопрос невозможно	965
Укажите уравнение, определяющее э. д. с. генератора, нагруженного номинальным током	$E_a = U - E_0 - E_{cx}$	1116
	$E_{нг} = U_n + rI_n + x_{pc}\bar{I}_n$	798
Напряжение на зажимах отличается от э. д. с. нагруженного генератора вследствие	реакции якоря	1286
	падения напряжения на сопротивлении рассеяния и активном сопротивлении якоря	979
	одновременного действия двух указанных выше причин	1130

Векторная диаграмма синхронного генератора с учетом насыщения стали

Э. д. с. нагруженного генератора отличается от э. д. с. холостого хода вследствие	реакции якоря	817
	падения напряжения на сопротивлении рассеяния и активном сопротивлении якоря	1303
	одновременного действия двух указанных выше причин	997
Напряжение на зажимах синхронного генератора отличается от э. д. с. холостого хода вследствие	реакции якоря	1146
	падения напряжения на сопротивлении рассеяния и активном сопротивлении обмотки якоря	834
	одновременного действия двух указанных выше причин	1318
Как направлены: а) вектор результирующей м. д. с. машины; б) вектор м. д. с. реакции якоря?	а) перпендикулярен вектору E_0 ; б) перпендикулярен вектору тока I_H	1011
	а) перпендикулярен вектору $E_{ин}$; б) совпадает с вектором тока I_H	1161
	а) перпендикулярен вектору тока I_H ; б) совпадает с вектором тока I_H	852
Как найти вектор м. д. с. полюсов, если векторы Aw_p и Aw_H известны?	$Aw_0 = Aw_p - Aw_H$	1338
	по характеристике холостого хода синхронного генератора	1025
Как определить: а) направление вектора э. д. с. холостого хода; б) величину э. д. с. холостого хода?	а) этот вектор перпендикулярен вектору Aw_0 ; б) по уравнению э. д. с. синхронного генератора	1176
	а) этот вектор перпендикулярен вектору Aw_0 ; б) по характеристике холостого хода	866
	а) этот вектор перпендикулярен вектору I_H ; б) по характеристике холостого хода	1353

§ 5. Практическая диаграмма э. д. с.

Изменение напряжения синхронного генератора при отключении нагрузки определяют графически — путем построения практической диаграммы э. д. с.

Практическую диаграмму э. д. с. строят в относительных единицах. Это значит, что на осях графиков откладывают не абсолютные значения тока, напряжения и т. п., а их отношения к номинальным значениям этих величин, которые условно принимают за единицу.

В синхронных машинах за условные (базовые) единицы принимают U_n , I_n , P_n , n_n , $I_{\text{в}}$ — ток возбуждения, который дает единицу напряжения при холостом ходе и единице скорости вращения. Величины, выраженные в относительных единицах, обозначают звездочкой «*». Индуктивные сопротивления обмоток генератора выражают в относительных единицах, как отношение падения напряжения на сопротивлении обмотки к номинальному фазному напряжению генератора, например

$$x_{\text{pc}}^* = \frac{I_n x_{\text{pc}}}{U_{\text{фн}}}. \quad (121)$$

Характеристику холостого хода генератора, построенную в относительных единицах, называют *нормальной характеристикой холостого хода*. Строится эта характеристика по следующим данным:

$I_{\text{в}}^*$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
U_0^*	0,53—0,58	1,0	1,21—1,23	1,30—1,33	1,4	1,46	1,51

Для построения практической диаграммы э. д. с. нужно знать характеристику короткого замыкания генератора.

Характеристикой короткого замыкания называют зависимость тока короткого замыкания статора от тока возбуждения при постоянной скорости вращения и напряжении, равном нулю:

$$I_{\text{к}} = f(I_{\text{в}}) \text{ при } n = \text{const и } U = 0.$$

Для снятия характеристики короткого замыкания проводят опыт короткого замыкания по схеме, показанной на рисунке 156, а. Ротор генератора вращают с номинальной скоростью и постепенно увеличивают ток возбуждения $I_{\text{в}}$ до такого значения, чтобы ток короткого замыкания не превышал номинального рабочего тока статора (в отдельных случаях величину тока короткого замыкания доводят до $1,25 I_n$). Так как активное сопротивление обмотки статора невелико, то им можно пренебречь и считать, что в опыте короткого замыкания синхронный генератор работает на чисто индуктивную нагрузку, т. е. ток короткого замыкания, как отстающий, создает в генераторе продольно-размагничивающую реакцию якоря (рис. 156, б). М. д. с. $F_{\text{я}}$ реакции якоря направлена против м. д. с. F_0 полюсов, которая имеет небольшую величину при опыте короткого замыкания.

Вследствие этого результирующая м. д. с. $F_{\text{рез}}$ очень мала и сталь машины не насыщена, поэтому характеристика корот-

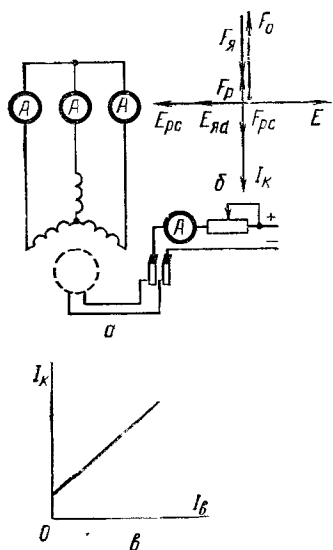


Рис. 156. Характеристика короткого замыкания:
а — схема; б — векторная диаграмма; в — характеристика.

— $OA = 1$. Под углом φ_n проводим линию направления вектора тока I_n . Падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора не учитываем, так как оно относительно мало. Далее от конца вектора напряжения откладываем перпендикулярно к вектору тока I_n вектор AB — падение напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния обмотки статора.

Вектор OB представляет собой э. д. с. нагруженного генератора $E_{нг}$. Переносим вектор OB на ось ординат, сделав засечку на ней радиусом OB , и по характеристике холостого хода определяем ток возбуждения $I_{в.нг} = OK$, необходимый для создания э. д. с. нагруженного генератора $E_{нг}$.

Затем учитываем действие реакции якоря генератора. Для этого по характеристике короткого замыкания находим ток возбуждения $I_{в.к} = OD$, который при опыте короткого замыкания создает ток короткого замыкания, равный номинальному ($I_k = I_n$). Для этого на оси ординат откладываем величину номинального тока в относительных единицах, от конца вектора тока проводим горизонтальную линию до пересечения ее с характеристикой короткого замыкания, а из точки пересечения проводим вертикальную линию, которая на оси абсцисс отсечет отрезок OD , представляющий собой ток возбуждения $I_{в.к}$.

Из тока возбуждения $I_{в.к}$ выделяем ток возбуждения $I_{в.рс}$, необходимый для создания э. д. с. рассеяния. Так как э. д. с. рассеяния численно равна падению напряжения на индуктивном сопротивлении

кого замыкания имеет вид прямой линии (рис. 156, в). Начинается эта характеристика не от нуля из-за наличия в полюсах ротора остаточного магнетизма.

М. д. с. рассеяния $F_{рс}$ не может уравновесить м. д. с. $F_{рез}$, так как магнитные силовые линии потока рассеяния не проходят в полюса. Э. д. с. E , индуцируемая в якоре магнитным потоком, который создает м. д. с. $F_{рез}$, уравновешивается э. д. с. рассеяния $E_{рс}$ (рис. 156, б).

При построении практической диаграммы э. д. с. на осях координат строим нормальную характеристику холостого хода и характеристику короткого замыкания (рис. 157). Все величины откладываем в относительных единицах. При построении характеристики пренебрегаем остаточным магнетизмом и кривые начинаем от нуля. Далее на оси ординат откладываем вектор номинального напряжения U_n —

рассеяния ($E_{pc} = I_n x_{pc}$), то для нахождения тока возбуждения $I_{в,pc}$ откладываем на оси ординат вектор $AB = I_n x_{pc}$ и по характеристике холостого хода находим $I_{в,pc} = OC$. Так как при опыте короткого замыкания э. д. с., индуцируемая в обмотке генератора, уравновешивается э. д. с. рассеяния и э. д. с. реакции якоря, то оставшаяся часть тока возбуждения $I_{в,я}$ — вектор CD представляет собой ток возбуждения $I_{в,я}$, необходимый для создания э. д. с., равной по величине э. д. с. продольно-размагничивающей реакции якоря $E_{яd}$, т. е. этот ток возбуждения соответствует продольно-размагничивающей реакции якоря. Если с током возбуждения $I_{в,я}$ геометрически сложить ток возбуждения $I_{в,пг}$, то получим ток возбуждения $I_{в0}$, создающий э. д. с. холостого хода генератора E_0 (см. § 4 настоящей главы).

КАРТОЧКА № 82 (261)

Практическая диаграмма э. д. с.

Определите ток и напряжение генератора в относительных единицах, если номинальное напряжение генератора 230 В, номинальный ток 20 А, а при токе 10 А напряжение равно 240 В	$I^* = 0,5; U^* = 0,96$	1040
	$I^* = 0,5; U^* = 1,04$	1192
	$I^* = 2; U^* = 0,96$	883
Определите x_{pc} генератора в относительных единицах, если номинальное фазное напряжение 127 В, номинальный ток 10 А, сопротивление рассеяния $x_{pc} = 0,127$ Ом	$x_{pc}^* = 1$	1370
	$x_{pc}^* = 0,4$	729
	$x_{pc}^* = 0,01$	1207
При номинальной скорости вращения и токе нагрузки, равном нулю, измерено напряжение на зажимах генератора при различных значениях тока возбуждения. Можно ли по этим данным построить нормальную характеристику холостого хода?	Можно	903
	Нельзя, так как неизвестны U_H и I_H	1054
	Нельзя, так как неизвестны U_H и $I_{вH}$	742
В каких координатах строятся: а) характеристика холостого хода; б) характеристика короткого замыкания?	а) $I, I_{в}$; б) U_0, I	1223
	а) U_0, I ; б) $U_0, I_{в}$	918
	а) $U_0, I_{в}$; б) $I, I_{в}$	1066
Как направлен магнитный поток реакции якоря, создаваемый током короткого замыкания, по отношению к магнитному потоку полюсов машины?	Встречно	754
	Согласно	1239
	Перпендикулярно	932

Практическая диаграмма э. д. с.

Определите результирующую м. д. с., создающую магнитный поток в стали машины при опыте короткого замыкания, если м. д. с. полюсов 100 А, м. д. с. реакции якоря 80 А	100 А	1083
	80 А	769
	20 А	1256
В какой угловой фазе находится напряжение на индуктивном сопротивлении рассеяния обмотки якоря по отношению к току якоря?	Отстает на 90°	951
	Опережает на 90°	1102
	Опережает на угол, близкий к 90°	784
Какие данные необходимы, чтобы определить: а) $I_{в.к}$; б) $I_{в.н}$?	а) номинальное напряжение и характеристика холостого хода; б) номинальное напряжение и характеристика короткого замыкания	1272
	а) номинальный ток и характеристика холостого хода; б) номинальный ток и характеристика короткого замыкания	966
	а) номинальный ток и характеристика короткого замыкания; б) э. д. с. нагруженного генератора и характеристика холостого хода	1117
Какие данные необходимы и достаточны, чтобы определить $i_{в.н}$?	$E_{рс}$, характеристика холостого хода, $I_{в.к}$	799
	$E_{рс}$, характеристика короткого замыкания, $I_{в.к}$	1287
	$I_{в.к}$, характеристика холостого хода, $I_{в.к}$	980
Какие данные непосредственно используются для определения э. д. с. генератора при холостом ходе?	$I_{в.н}$, $U_{в.н}$, характеристика холостого хода	1131
	$I_{в.н}$, $I_{в.к}$, характеристика холостого хода	818
	характеристика холостого хода и характеристика короткого замыкания	1304

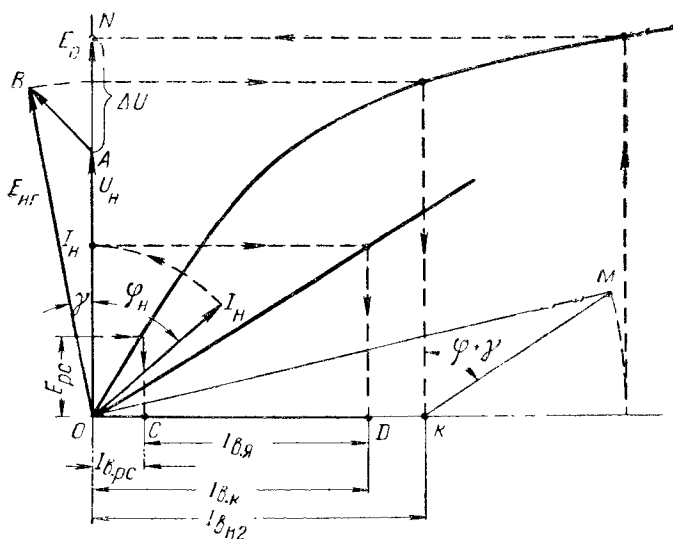


Рис. 157. Практическая диаграмма э. д. с.

Так как вектор тока возбуждения $I_{в.нг}$ повернут по отношению к вектору э. д. с. $E_{нг}$ на угол $(90^\circ + \gamma)$, то вектор тока возбуждения ($I_{в.я} = KM$) проводим из точки K под углом $(\varphi + \gamma)$ к вертикали. Вектор OM представляет собой ток возбуждения $I_{ю}$. Переносим отрезок OM на ось абсцисс и по характеристике холостого хода находим э. д. с. $E_0 = ON$. Величина изменения напряжения ΔU при отключении от генератора номинальной нагрузки выражена отрезком AN .

§ 6. Отношение короткого замыкания

Одним из важных параметров синхронного генератора является коэффициент, называемый *отношением короткого замыкания*, который представляет собой отношение тока возбуждения $I_{в.н}$, соответствующего номинальному напряжению генератора при холостом ходе, к току возбуждения $I_{в.к}$, соответствующему номинальному току статора при опыте короткого замыкания (рис. 158):

$$k_{о.к.з.} = \frac{I_{в.н}}{I_{в.к}}. \quad (122)$$

Коэффициент $k_{о.к.з.}$ определяет степень устойчивости параллельной работы синхронного генератора и характеризует влияние реакции якоря на систему возбуждения.

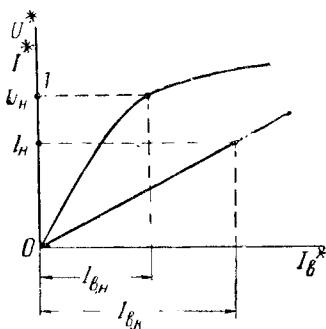


Рис. 158. Определение коэффициента отношения короткого замыкания.

Значение коэффициента $k_{0, \text{к.з}}$ для генераторов с неявно выраженными полюсами составляет 0,65—0,96, а для генераторов с явно выраженными полюсами — 1,0—1,4.

КАРТОЧКА № 84 (311)

Отношение короткого замыкания

Определите ток $I_{\text{в.н.}}$, если при холостом ходе и номинальной скорости вращения напряжение на зажимах генератора равно номинальному, а ток возбуждения равен 0,4 А	$I_{\text{в.н.}} = 0,4 \text{ А}$	998
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1147
Определите ток $I_{\text{в.к.}}$, если ток якоря короткозамкнутого генератора равен номинальному току, а ток возбуждения 0,5 А	$I_{\text{в.к.}} = 0,5 \text{ А}$	835
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1319
Данные, приведенные в первом и втором вопросах, относятся к одному и тому же генератору. Определите $k_{0, \text{к.з}}$ этого генератора	0,7	1012
	0,8	1162
Какой из указанных типов генераторов может иметь $k_{0, \text{к.з.}} = 0,7$?	С явно выраженными полюсами	853
	С неявно выраженными полюсами	1339
	Любой из этих генераторов	1026
Определите ток возбуждения, если $I = 0$, $U = U_{\text{н}}$, $n = n_{\text{н}}$, $k_{0, \text{к.з.}} = 1,2$, $I_{\text{в.к.}} = 0,5 \text{ А}$	0,6 А	1177
	1,2 А	867
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1354

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Векторные диаграммы синхронного генератора

Цель работы. Изучить способы построения векторных диаграмм синхронного генератора.

П л а н р а б о т ы. Построить основную векторную диаграмму и практическую диаграмму э. д. с. трехфазного синхронного генератора, определить отношение короткого замыкания.

П о я с н е н и е к р а б о т е. Построение векторных диаграмм рассмотрим на примерах.

Пример 1. Построить основную векторную диаграмму для трехфазного синхронного генератора и определить по ней напряжение генератора при полной нагрузке, если известно, что $P_{\text{н}} = 1500 \text{ кВт}$, $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,8$, $U_{\text{н.л.}} = 525 \text{ В}$

соединение фаз — Υ , $x_{pc}^* = 0,16$, $x_{я}^* = 0,45$, $x_{яd}^* = 0,84$, угол $\psi = 42^\circ$, $2p = 8$, э. д. с. $E_{\text{н0}} = 700$ В, а активным сопротивлением обмотки можно пренебречь.

Решение. Номинальный ток генератора

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{1500 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 525 \cdot 0,8} \approx 690 \text{ А.}$$

Фазные значения напряжения и э. д. с.

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\text{нл}}}{\sqrt{3}} = \frac{525}{1,73} \approx 304 \text{ В;}$$

$$E_{\Phi 0} = \frac{E_{\text{н0}}}{1,73} = \frac{700}{1,73} \approx 405 \text{ В.}$$

Индуктивные сопротивления на фазу

$$x_{pc} = \frac{x_{pc}^* U_{\Phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,16 \cdot 304}{690} \approx 0,07 \text{ Ом;}$$

$$x_{яq} = \frac{x_{яq}^* U_{\Phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,45 \cdot 304}{690} \approx 0,198 \text{ Ом;}$$

$$x_{яd} = \frac{x_{яd}^* U_{\Phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,84 \cdot 304}{690} \approx 0,37 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная составляющие тока статора

$$I_q = I_{\text{н}} \cos \psi = I_{\text{н}} \cos 42^\circ = 690 \cdot 0,74 \approx 510 \text{ А;}$$

$$I_d = I_{\text{н}} \sin \psi = I_{\text{н}} \sin 42^\circ = 690 \cdot 0,67 \approx 460 \text{ А.}$$

Э. д. с. статора

$$E_{pc} = I_{\text{н}} x_{pc} = 690 \cdot 0,07 \approx 48 \text{ В;}$$

$$E_{яq} = I_q x_{яq} = 510 \cdot 0,198 \approx 101 \text{ В;}$$

$$E_{яd} = I_d x_{яd} = 460 \cdot 0,37 \approx 170 \text{ В.}$$

Для построения основной диаграммы отложим вертикально вектор фазной э. д. с. E_0 , а под углом $\psi = 42^\circ$ — вектор тока $I_{\text{н}}$ (рис. 159) в выбранных нами масштабах (для э. д. с. 10 В — 2 мм и для тока 10 А — 1 мм). Затем от конца вектора E_0 откладываем вектор э. д. с. $E_{яq}$ в сторону отставания и под углом 90° к вектору E_0 , от конца вектора $E_{яq}$ — вектор $E_{яd}$ параллельно вектору E_0 и от конца вектора $E_{яd}$ — вектор E_{pc} перпендикулярно вектору тока $I_{\text{н}}$. Соединив точки O и A , получим вектор напряжения U .

После измерения вектора OA находим значение напряжения на зажимах генератора:

$$U_{\Phi} = 245 \text{ В, тогда } U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\Phi} = 1,73 \cdot 245 \approx 423 \text{ В.}$$

Пример 2. Построить практическую диаграмму э. д. с. синхронного генератора, используя данные из предыдущего примера при следующих дополнительных условиях: характеристика холостого хода нормальная

$I_{\text{в}}^*$	0	0,5	1	1,5	2,0
$U_{\text{в}}^*$	0	0,53	1	1,23	1,3,

а ток возбуждения $I_{\text{в.к}}^* = 0,72$.

Решение. На осях координат строим характеристики холостого хода и короткого замыкания в относительных единицах (рис. 160).

На оси ординат откладываем вектор напряжения $U_{\text{н}}$ в выбранном нами масштабе (отрезок $OA = 1$). Под углом φ к вектору напряжения задаем направление

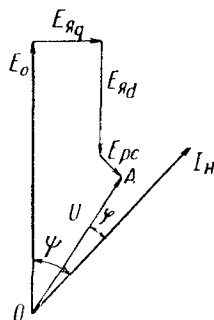


Рис. 159. К примеру 1. Построение основной диаграммы э. д. с.

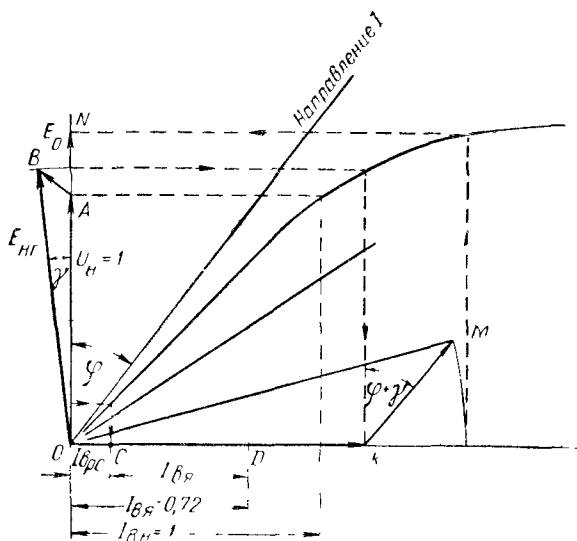


Рис. 160. К примеру 2. Построение практической диаграммы э. д. с.

вектора тока I . Из точки A перпендикулярно вектору тока I откладываем вектор $x_{рс}^* = 0,16$ (отрезок AB). Вектор э. д. с. нагруженного генератора ($E_{нг} = OB$) переносим на ось ординат и находим по характеристике холостого хода значение тока возбуждения $I_{в.нг}^*$, создающего эту э. д. с. ($I_{в.нг}^* = OK = 0,49$). Затем находим ток возбуждения $I_{в.рс}^*$ по характеристике холостого хода: $I_{в.рс}^* = OC = 0,16$. Вычитая из тока $I_{в.к}^*$ ток $I_{в.рс}^*$, определяем, что $I_{в.л}^* = I_{в.к}^* - I_{в.рс}^* = OD - OC = CD = 0,72 - 0,16 = 0,56$. Геометрически складываем векторы $I_{в.нг}^*$ и $I_{в.л}^*$ и находим вектор тока возбуждения $I_{в.о}^*$, необходимого для создания э. д. с. E_0 : $I_{в.о}^* = I_{в.нг}^* + I_{в.л}^* = OM = 1,6$.

Переносим вектор OM на ось абсцисс и по характеристике холостого хода находим величину э. д. с.: $E_0^* = ON = 1,25$. Отсюда следует, что при полной разгрузке генератора напряжение повысится на 25%.

Пример 3. Определить коэффициент отношения короткого замыкания для синхронного генератора, ток возбуждения которого $I_{в.к}^* = 1,43$, $I_{в.н}^* = 1$.

Решение. Коэффициент $k_{о.к.з}$

$$k_{о.к.з} = \frac{I_{в.н}^*}{I_{в.к}^*} = \frac{1}{1,43} = 0,7.$$

Глава XX

ВНЕШНИЕ И РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

§ 1. Внешние характеристики синхронного генератора

Внешними характеристиками синхронного генератора называют зависимость напряжения на его зажимах от тока нагрузки при неизменных значениях тока возбуждения, частоты и коэффициента мощности.

Снимают внешние характеристики при значениях $\cos \varphi = 1$, $\cos \varphi = 0,8$ индуктивном и $\cos \varphi = 0,8$ емкостном на повышение и понижение напряжения.

Когда внешние характеристики снимают на повышение напряжения, номинальное напряжение генератора устанавливают при номинальной нагрузке, затем, не изменяя скорости вращения, тока возбуждения и коэффициента мощности, постепенно разгружают генератор, записывая показания приборов.

При уменьшении активной нагрузки напряжение генератора увеличивается, так как снижается падение напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях обмоток генератора (рис. 161, а).

В случае уменьшения смешанной, активно-индуктивной нагрузки напряжение генератора будет увеличиваться еще больше, так как наряду со снижением падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях обмоток генератора становится меньше также размагничивающее действие реакции якоря, обусловленное индуктивной составляющей тока нагрузки.

При уменьшении смешанной, активно-емкостной нагрузки напряжение генератора падает, поскольку снижается подмагничивающее действие реакции якоря, обусловленное емкостной составляющей тока нагрузки.

По внешним характеристикам, снятым на повышение напряжения, можно определить, насколько возрастает напряжение генератора при сбросе номинальной нагрузки. Согласно ГОСТу, повышение напряжения при этом не должно превышать 50% номинального.

Когда внешние характеристики снимают на понижение напряжения, номинальное напряжение генератора устанавливают при холостом ходе, а затем постепенно нагружают генератор до номинальной нагрузки и записывают показания приборов.

При увеличении активной нагрузки напряжение генератора уменьшается (рис. 161, б).

С увеличением смешанной, активно-индуктивной нагрузки напряжение генератора уменьшается еще больше из-за размагничивающего действия реакции якоря.

Увеличение смешанной, активно-емкостной нагрузки сопровождается повышением напряжения генератора, что объясняется подмагничивающим действием реакции якоря.

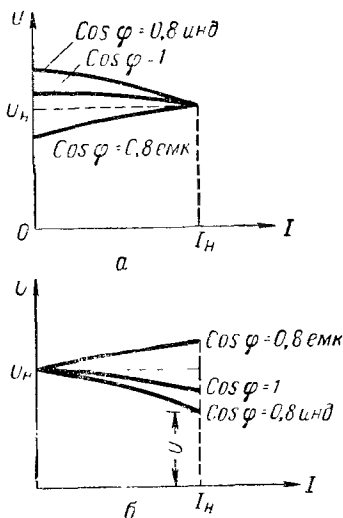


Рис. 161. Внешние характеристики синхронного генератора:
а — при повышении напряжения;
б — при понижении напряжения.

Внешняя характеристика позволяет определить изменение напряжения генератора при изменении нагрузки:

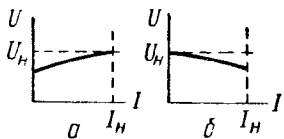
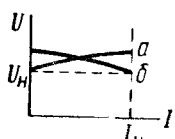
$$\Delta U = U_H - U,$$

или

$$\Delta U\% = \frac{U_H - U}{U_H} 100.$$

КАРТОЧКА № 85 (242)

Внешние характеристики синхронного генератора

При выполнении каких условий зависимость $U = f(I)$ будет внешней характеристикой синхронного генератора?	$\omega = \text{const}$	1041
	$\cos \varphi = \text{const}$	1193
	$I_B = \text{const}$	884
	Всех перечисленных выше условий	1371
Каким образом снимались эти внешние характеристики? 	a — на повышение напряжения; $б$ — на понижение напряжения	730
	a — на понижение напряжения; $б$ — на повышение напряжения	1208
При каком характере нагрузки сняты характеристики a и $б$, рассмотренные в предыдущем вопросе?	a — при индуктивном; $б$ — при емкостном	904
	a — при емкостном; $б$ — при индуктивном	1055
Каким образом снимались эти внешние характеристики? 	На понижение напряжения	743
	a — на повышение напряжения; $б$ — на понижение напряжения	1224
	a — на понижение напряжения; $б$ — на повышение напряжения	919
При уменьшении тока нагрузки от номинального до нуля напряжение генератора понизилось от 230 В до 207 В. Определите $\Delta U\%$	10%	1067
	11%	755
	При уменьшении нагрузки напряжение генератора повышается, а не понижается	1240

§ 2. Регулировочные характеристики синхронного генератора

Регулировочными характеристиками синхронного генератора называют зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при неизменных значениях частоты, напряжения на его зажимах и коэффициента мощности.

Регулировочная характеристика показывает, как нужно изменять ток возбуждения, чтобы при изменении нагрузки напряжение на зажимах генератора поддерживать постоянным.

С увеличением активной нагрузки ток возбуждения нужно усиливать (рис. 162), поскольку в этом случае возрастает э. д. с. генератора, компенсирующая падение напряжения при повышении нагрузки и поддерживающая тем самым напряжение генератора постоянным.

При увеличении смешанной, активно-индуктивной нагрузки ток возбуждения нужно увеличивать еще больше, учитывая размагничивающее действие реакции якоря, а при возрастании смешанной, активно емкостной нагрузки ток возбуждения нужно уменьшать из-за подмагничивающего действия реакции якоря.

Ток возбуждения изменяют при помощи регулировочного реостата в цепи обмотки возбуждения возбудителя. Введение в схему автоматического регулятора напряжения позволяет изменять ток возбуждения автоматически, в зависимости от нагрузки генератора.

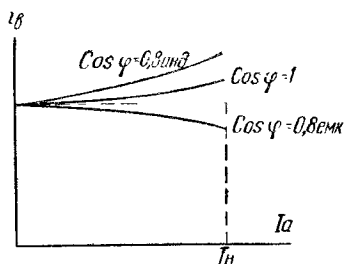


Рис. 162. Регулировочные характеристики синхронного генератора.

КАРТОЧКА № 86 (255)

Регулировочные характеристики синхронного генератора

Зависимость $i_B = f(I)$ будет регулировочной характеристикой генератора, если	$f = \text{const}$	933
	$\cos \varphi = \text{const}$	1084
	$U = \text{const}$	770
	выполняются все перечисленные выше условия	1257
Как изменился ток возбуждения, если при постоянном напряжении на зажимах генератора ток нагрузки увеличился?	Увеличился	952
	Не изменился	1103
	Уменьшился	785
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1273

Почему при увеличении активно-индуктивной нагрузки напряжение на зажимах генератора резко уменьшается?	Вследствие увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении якоря генератора	967
	Вследствие увеличения размагничивающего действия реакции якоря	800
	Вследствие действия двух причин, указанных выше	1288
Как надо изменять ток возбуждения, чтобы при увеличении емкостной нагрузки напряжение на зажимах генератора не изменилось?	Увеличивать	981
	Уменьшать	1132
Как надо изменять сопротивление в цепи возбуждения, чтобы напряжение генератора не изменилось при увеличении активно-индуктивной нагрузки?	Увеличивать	819
	Уменьшать	1305

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование синхронного генератора

Цель работы. Изучить процессы пуска в ход и регулирования генератора, снять характеристики.

П л а н р а б о т ы. 1. Ознакомиться с конструкцией генератора и данными его заводского щитка, запустить генератор, изменить направление вращения ротора и возбудить генератор.

2. Подобрать необходимые приборы и оборудование, собрать схему для снятия характеристик генератора.

3. Снять характеристику холостого хода, внешние характеристики на повышение и понижение напряжения и регулировочные характеристики при активной и активно индуктивной нагрузках.

4. Собрать схему и снять характеристику короткого замыкания.

5. По данным исследований построить характеристики.

6. Зарисовать в отчет схемы опытов, записать данные исследований, построить характеристики.

П о я с н е н и я к р а б о т е. В опыте используется трехфазный синхронный генератор мощностью до 5 кВт, приводимый во вращение двигателем постоянного тока (рис. 163, а).

Развернув ротор генератора до номинального числа оборотов, медленно возбуждают генератор, пока не получат на его зажимах номинального напряжения. При изменении направления вращения ротора генератора необходимо переставить перемычку на доске зажимов возбудителя (см. рис. 147, б).

Характеристику холостого хода снимают при разомкнутом рубильнике РЗ (рис. 163, а). Ротор генератора вращают с номинальной скоростью, которую во

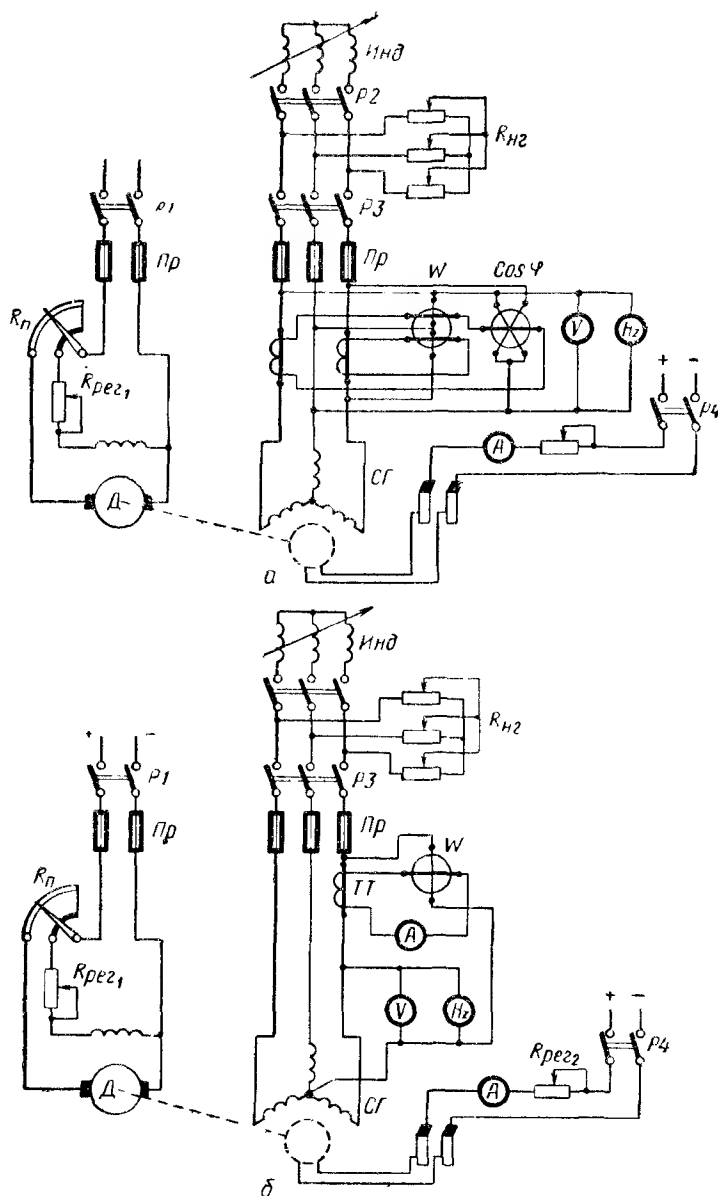


Рис. 163. Схема для снятия характеристик синхронного генератора:

а — при измерении $\cos \varphi$ фазометром; б — при определении $\cos \varphi$ по показаниям вольтметра, амперметра и ваттметра; $P1, P2, P3, P4$ — рубильники; Pr — предохранители; $Инд$ — бесшумное индуктивное сопротивление; $R_{н2}$ — нагрузочный реостат; $ТТ$ — трансформатор тока; $R_{рег1}$ — шунтовый реостат в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока; $R_{рег2}$ — регулировочный реостат в цепи возбуждения синхронного генератора; $Д$ — двигатель постоянного тока; $СГ$ — синхронный генератор; $R_{н}$ — пусковой реостат.

время опыта поддерживают постоянной. При токе возбуждения, равном нулю (рубильник *P4* разомкнут), снимают первую точку характеристики, а затем, замыкнув рубильник *P4*, еще 5—7 точек, увеличивая ток возбуждения от нуля до значения, при котором э. д. с. генератора достигнет величины примерно 1,35 *U_н*. Данные измерений заносят в следующую таблицу.

Номер измерения	I_B, A	E_X, B

По этим данным строят характеристику холостого хода и сравнивают ее с нормальной (см. § 5 гл. XIX). Для уменьшения объема работы строят только восходящую ветвь характеристики.

В качестве нагрузочных сопротивлений берут реостаты (активная нагрузка) и реактивные катушки с регулируемым стальными сердечниками или асинхронные короткозамкнутые двигатели, работающие вхолостую (индуктивная нагрузка).

Поддерживать $\cos \varphi$ равным 0,8 можно в этом случае, подгоняя активную нагрузку.

При отсутствии фазометра значение $\cos \varphi$ определяют при помощи вольтметра, амперметра и ваттметра (рис. 163, б) по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI},$$

где *P* — показания ваттметра, Вт;

U — показания вольтметра, В;

I — показания амперметра, А.

Чтобы уменьшить количество приборов, создают равномерную нагрузку на все три фазы, тогда токовые катушки приборов включают в одну фазу, а катушки напряжения — между этой же фазой и нулем. Для контроля скорости генератора в схему вводят частотомер.

Внешние характеристики снимают на повышение и понижение напряжения при активной ($\cos \varphi = 1$) и активно-индуктивной нагрузках ($\cos \varphi = 0,8$). Показания приборов записывают в следующую таблицу.

Номер измерения	$\cos \varphi = 1$				$\cos \varphi = 0,8$			
	<i>I, A</i>	<i>U, B</i>	<i>P, Вт</i>	<i>f, Гц</i>	<i>I, A</i>	<i>U, B</i>	<i>P, Вт</i>	<i>f, Гц</i>

По 4—5 точкам строят внешние характеристики генератора на повышение и понижение напряжения и определяют $\Delta U\%$ для $\cos \varphi = 1$ и $\cos \varphi = 0,8$:

$$\Delta U\% = \frac{U - U_H}{U_H} 100;$$

$$\Delta U\% = \frac{U_H - U}{U_H} 100.$$

Регулировочные характеристики синхронного генератора снимают при $\cos \varphi = 1$ и $\cos \varphi = 0,8$. Возбуждают генератор при холостом ходе до номинального напряжения. Затем нагружают его до номинальной нагрузки, поддерживая при этом частоту и напряжение постоянными. Для поддержания напряжения постоянным при постоянной частоте нужно с увеличением нагрузки изменять ток возбуждения генератора. Показания приборов записывают в таблицу

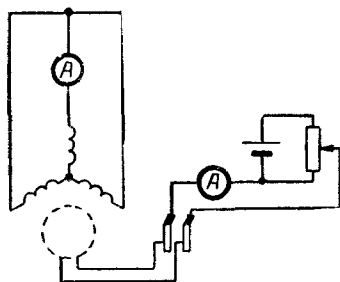


Рис. 164. Схема для проведения опыта короткого замыкания трехфазного синхронного генератора.

Номер измерения	$\cos \varphi = 1$				$\cos \varphi = 0,8$			
	U , В	I , А	I_B , А	I , Гц	U , В	I , А	I_B , А	I , Гц

и строят по ним регулировочные характеристики генератора.

Характеристику короткого замыкания снимают, собрав схему, показанную на рисунке 164. Обмотку возбуждения питают от постороннего источника тока через потенциометр, с тем чтобы ток возбуждения можно было изменять начиная от нуля. Так как обычно напряжения на всех фазах симметричны, для опыта включают только один амперметр в цепь обмотки статора. Собрав схему и установив рукоятку потенциометра в таком положении, при котором ток возбуждения равен нулю, разворачивают ротор генератора до номинальной скорости. Затем, постепенно увеличивая ток возбуждения, делают 4—5 измерений, данные которых сводят в таблицу

Номер измерения	I_B , А	I_{10} , А

по этим данным строят характеристику короткого замыкания.

По характеристике холостого хода и короткого замыкания находят отношение короткого замыкания и ток возбуждения, создающий э. д. с., компенсирующую реакцию якоря, значение которого необходимо знать для построения практической диаграммы э. д. с.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

§ 1. Условия включения на параллельную работу синхронных генераторов

На электрических станциях обычно устанавливают несколько генераторов, которые отдают электрическую энергию на общие шины, т. е. работают параллельно. В этом случае в зависимости от потребной мощности включают на работу такое количество генераторов, чтобы каждый из них был полностью загружен.

Кроме того, электростанции часто объединяют для параллельной работы в одну общую энергетическую систему. Тогда электростанции работают с более высоким к. п. д., лучше используется установленное на них оборудование, уменьшается необходимая резервная мощность. В нашей стране предусмотрено создание единой энергетической системы. Это значит, что все крупные электростанции будут работать на единую высоковольтную сеть.

Синхронные трехфазные генераторы можно включить на параллельную работу, если выполнены следующие условия:

1) напряжения работающего и подключаемого генераторов равны друг другу: $U_1 = U_{11}$;

2) векторы напряжений подключаемого и работающего генераторов сдвинуты по фазе друг относительно друга на 180° ; следует отметить, что напряжения генераторов находятся в фазе, а на шинах электростанции — в противофазе (рис. 165);

3) частоты генераторов равны между собой: $f_1 = f_{11}$;

4) порядок чередования фаз генераторов одинаков: A_1, B_1, C_1 и A_{11}, B_{11}, C_{11} .

Рассмотрим, какие явления возникают в генераторах при несоблюдении этих условий.

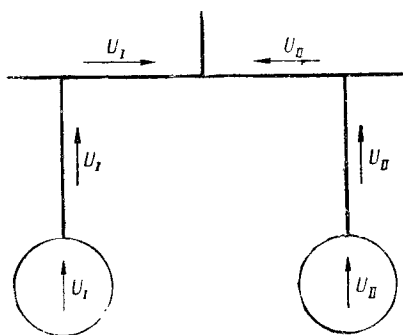


Рис. 165. Положение векторов напряжений при включении синхронных генераторов на параллельную работу.

Если напряжения генераторов не равны, например $U_1 > U_{11}$, а остальные условия выдержаны, то в обмотках генераторов возникает уравнивающий ток $I_{ур}$ (рис. 166, а).

Так как активное сопротивление обмоток генератора очень мало и им обычно пренебрегают, то можно считать, что обмотки генераторов обладают только индуктивным сопротивлением. Вследствие этого уравнивающий ток будет отставать по фазе от вектора ΔU на угол, близкий к 90° , т. е. уравнивающий ток в данном случае будет током реактивным для обоих генераторов.

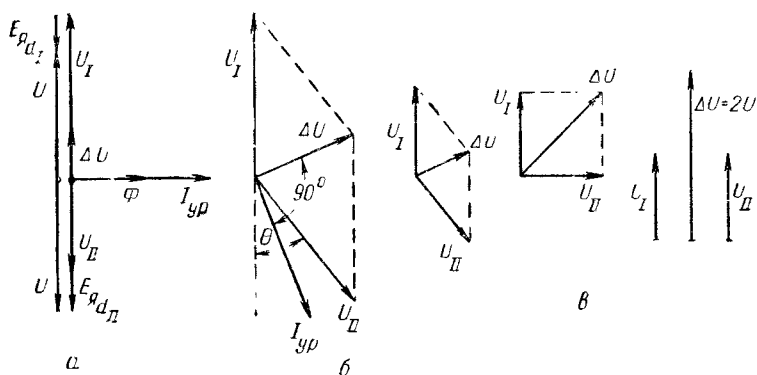


Рис. 166. Векторные диаграммы при параллельной работе синхронных генераторов:

а — напряжения генераторов не равны; б — угол между векторами напряжений не равен 180° ; в — частоты генераторов не равны.

Для генератора с бóльшим значением напряжения уравнивающий ток будет отстающим, он создает продольно-размагничивающий магнитный поток якоря, уменьшающий поток полюсов, вследствие чего напряжение на его зажимах повысится до значения U . Для генератора с меньшим значением напряжения уравнивающий ток будет опережающим, он создает продольно намагничивающий поток якоря, складывающийся с потоком полюсов, вследствие чего напряжение второго генератора повысится до значения U .

Уравнивающий ток перегружает обмотки генераторов, что не дает возможности использовать их на полную мощность и создает дополнительные потери на нагрев обмоток статора.

Так как уравнивающий ток реактивный, то первичные двигатели им не нагружаются. Можно рассматривать вопрос так, что уравнивающий ток создает в каждом генераторе магнитные потоки якоря, которые индуцируют свои э. д. с. якоря.

Во втором генераторе магнитный поток продольно-намагничивающей реакции якоря индуцирует э. д. с. $E_{ндII}$, которая складывается с э. д. с. генератора E_{II} , вследствие чего его напряжение увеличивается и становится равным U , а в первом уравнивающий ток создает поток продольно-размагничивающей реакции якоря, индуцирующий э. д. с. $E_{ндI}$, которая вычитается из напряжения генератора U_I и его напряжение уменьшается до величины U .

Если векторы напряжений генераторов при включении их на параллельную работу сдвинуты по фазе на угол, меньший 180° , вследствие того что роторы этих генераторов сдвинуты на угол $180^\circ - \theta$, то в обмотках генераторов появится уравнивающий ток, обусловленный напряжением ΔU , которое равно геометрической сумме напряжений U_I и U_{II} (рис. 166, б). Уравнивающий ток будет сдвинут по фазе относительно ΔU на угол, близкий к 90° , но почти совпадет по фазе с напряжением второго генератора U_{II} , т. е. по

Условия включения на параллельную работу синхронных генераторов

Все условия включения на параллельную работу выполнены, кроме равенства напряжений генераторов: $U_I \neq U_{II}$. Что произойдет, если генераторы включить на параллельную работу?	Появится реактивный уравнительный ток	999
	Появится уравнительный ток с большой активной составляющей	1148
	Появится уравнительный ток, резко изменяющийся по амплитуде	836
	В двух фазах появится уравнительный ток	1320
Что произойдет, если включить на параллельную работу генераторы, напряжения которых сдвинуты по фазе на угол, меньший 180° (другие условия параллельной работы выполнены)?	Появится реактивный уравнительный ток	1013
	Появится уравнительный ток с большой активной составляющей	1163
Что произойдет, если включить на параллельную работу генераторы, у которых частоты не равны (другие условия параллельной работы выполнены)?	Появится уравнительный ток с большой активной составляющей	854
	Появится уравнительный ток резко изменяющийся по амплитуде	1340
	Появится реактивный уравнительный ток	1027
Что произойдет, если включить на параллельную работу генераторы, у которых различен порядок чередования фаз (другие условия параллельной работы выполнены)?	Появится реактивный ток, резко изменяющийся по амплитуде	1178
	Появится уравнительный ток с большой активной составляющей	868
	В двух фазах появится большой уравнительный ток	1355
Какое действие оказывает а) активная; б) реактивная составляющая уравнительного тока?	а) выравнивает величины напряжений; б) доводит сдвиг по фазе до 180°	1042
	а) доводит сдвиг по фазе до 180° ; б) выравнивает величины напряжений	1194
	Выравнивают величины напряжений параллельно работающих генераторов	885

отношению к нему ток можно считать активным. Появление этого тока в обмотке статора второго генератора вызовет внезапную нагрузку генератора и создаст механический толчок на ротор в направлении, обратном направлению вращения генератора.

По отношению к напряжению U_1 уравнительный ток направлен, как в синхронном двигателе, поскольку сдвинут по фазе относительно вектора напряжения на угол, близкий к 180° . Появление этого тока в обмотке статора первого генератора вызовет механический толчок на ротор в сторону, совпадающую с направлением вращения генератора.

Вследствие этих механических воздействий ротор второго генератора сдвинется на некоторый угол против направления вращения, а ротор первого генератора — по направлению вращения, угол θ станет равным нулю, а векторы напряжения окажутся в противофазе, т. е. угол между ними окажется равным 180° . При большом значении угла θ механические толчки могут быть столь велики, что приведут к повреждению генераторов и первичных двигателей.

Случай неравенства частот генераторов аналогичен предыдущему с той только разницей, что угол θ и напряжение ΔU будут непрерывно изменяться, причем напряжение ΔU колеблется от 0 до $2U_\phi$ (рис. 166, в).

§ 2. Способы включения синхронных генераторов на параллельную работу

Точная синхронизация. Если между зажимами генераторов включить лампы накаливания, рассчитанные на двойное фазное напряжение, то они под действием переменного напряжения ΔU будут то гаснуть, то загораться. Это явление положено в основу работы специального прибора — лампового синхронизатора, который служит для синхронизации генераторов.

Когда лампы присоединяют к одноименным фазам (рис. 167, а), то получается схема включения лампы «на погасание». Параллельно

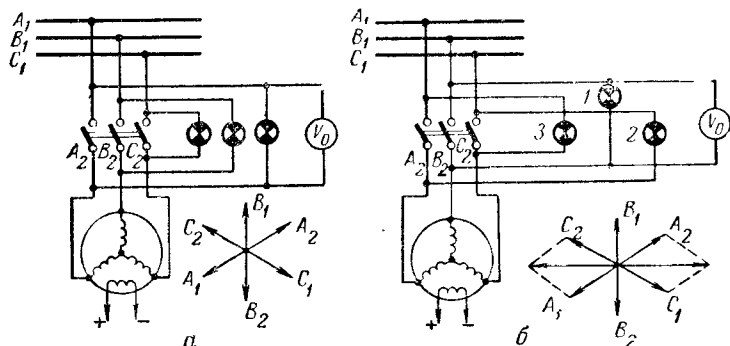


Рис. 167. Способы точной синхронизации включением ламп:
а — «на погасание света»; б — «на вращение света»,

одной из ламп присоединяют нулевой вольтметр, чувствительный в начальной области шкалы.

Включать генераторы на параллельную работу нужно при наименьшей частоте погасания ламп, когда лампы погаснут, а стрелка нулевого вольтметра подойдет к нулю. Векторная диаграмма напряжений трехфазных генераторов в момент их включения на параллельную работу приведена на этом же рисунке.

Если при этой схеме включения ламп они будут погасать не одновременно, а по очереди, то это свидетельствует о том, что порядок чередования фаз генераторов неодинаков. Для изменения порядка чередования фаз нужно поменять местами два любых провода, идущих к подключаемому генератору.

Чаще для синхронизации применяют схему включения ламп «на вращение света» (рис. 167, б). В этом случае одну лампу присоединяют к одноименным фазам, а две другие — к разноименным. Параллельно лампе, присоединенной к одноименным фазам, включают нулевой вольтметр.

На векторной диаграмме показано положение векторов фазных напряжений в момент включения генераторов на параллельную работу. При некоторой разнице частот генераторов лампы будут по очереди погасать и загораться. Так как в ламповом синхроскопе лампы расположены по кругу, то происходит так называемое вращение света. Если подключаемый генератор вращается быстрее работающего, то вращение света происходит по часовой стрелке, а если медленнее работающего, то против часовой стрелки.

Таким образом, этот способ синхронизации позволяет наглядно судить о том, как вращается подключаемый генератор — быстрее или медленнее работающего — и в какую сторону нужно изменять направление его вращения.

Генератор включают на параллельную работу в тот момент, когда вращение света прекратится, лампа, присоединенная к одноименным фазам, погаснет, стрелка нулевого вольтметра подходит к нулю, а две другие лампы горят одинаково ярким светом.

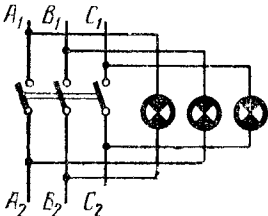
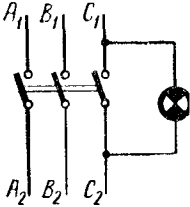
Нулевой вольтметр ставят для того, чтобы точнее определить разность напряжений между генераторами, чего с помощью одних ламп сделать нельзя, так как при 15—20% номинального напряжения на лампах их нити не накаливаются. Кроме ламповых, существуют также стрелочные синхроскопы.

Основной недостаток точной синхронизации заключается в том, что ее способы не дают возможности быстро включить генераторы на параллельную работу, особенно при аварийных режимах, когда напряжение и частота колеблются в широких пределах.

Самосинхронизация — более простой способ синхронизации генераторов, позволяющий включить генераторы на параллельную работу за короткое время даже при значительных колебаниях частоты и напряжения в сети.

Сущность способа самосинхронизации состоит в том, что возбужденный генератор, приводимый во вращение первичным двига-

Способы включения синхронных генераторов на параллельную работу

В какой момент производится включение генератора на параллельную работу, если лампы синхроскопа включены «на погасание»?	Когда лампы горят с полным накалом	1372
	Когда лампы горят вполнакала	731
	Когда лампы гаснут	1209
	Когда вольтметр, подключенный к одноименным фазам, показывает нуль	905
Лампы, включенные между одноименными фазами, загораются и гаснут поочередно. Что нужно сделать, прежде чем включить генераторы на параллельную работу?	Включить лампы между разноименными фазами	1056
	Изменить порядок следования фаз подключаемого генератора	744
	Уравнять скорости вращения генераторов	1225
Как включены эти лампы? 	На погасание	920
	На вращение света	1068
	Ни одним из указанных выше способов	756
Можно ли установить, равны или нет скорости вращения генераторов (нулевые точки заземлены)? 	Можно	1241
	Нельзя	934
	Можно, но только при включенном рубильнике	1085
Каким образом осуществляется самосинхронизация генераторов?	Выравниваются скорости вращения генераторов	771
	Невозбужденный генератор подключается к возбужденному генератору (или к сети)	1258
	После подключения к сети невозбужденный генератор возбуждается	953
	Последовательно выполняются три указанные выше операции	1104

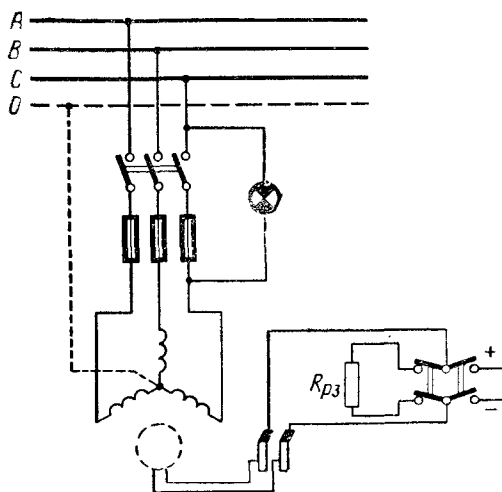


Рис. 168. Схема включения лампы на мигание при самосинхронизации.

номинальный; метод самосинхронизации можно применять тогда, когда их величина не превышает $3,5 I_n$.

Важным условием успешной самосинхронизации является отсутствие избыточного момента на валу первичного двигателя. В противном случае ускорение ротора может стать значительным, в результате чего самосинхронизация затянется.

Скорость вращения генератора, включаемого в сеть без возбуждения, можно определить частотным реле или тахометром.

При самосинхронизации генераторов небольшой мощности для определения разности скоростей вращения генераторов применяют также лампу накаливания, включенную на разность напряжений шин и синхронизируемого генератора от остаточного магнетизма полюсов (рис. 168). Небольшое по величине напряжение от остаточного магнетизма, складываясь с напряжением на шинах или вычитаясь из него, создает заметное мигание лампы накаливания, по частоте которого судят о разности частот генераторов. Включать генератор можно при 1—2 миганиях лампы в секунду.

Перед самосинхронизацией необходимо при помощи фазоуказателя убедиться, что порядок чередования фаз обоих генераторов одинаков.

§ 3. Параллельная работа синхронных генераторов на мощную сеть

Если включить синхронный генератор на параллельную работу с мощной сетью, то э. д. с. генератора будет равна напряжению сети: $U_c = E_r$, а угол между векторами напряжения сети U_c и век-

телем со скоростью, которая может отличаться на 2—5% от номинальной, включают в сеть, после чего в обмотку возбуждения ротора подают возбуждение, и генератор втягивается в синхронизм благодаря действию реактивного и электромагнитного моментов.

При включении генератора в сеть его обмотка возбуждения должна быть замкнута на якорь невозбужденного возбудителя или на гасительное сопротивление (во избежание перенапряжения в обмотке ротора). Во время включения наблюдаются броски тока статора, в несколько раз превышающие

тором э. д. с. генератора E_r составлять 180° . Подключенный генератор не принимает на себя нагрузку и продолжает вращаться холостую.

В генераторах постоянного тока при их параллельной работе для изменения нагрузки нужно изменять возбуждение. Увеличим возбуждение синхронного генератора, работающего параллельно с мощной сетью для того, чтобы он взял на себя нагрузку. При этом э. д. с. E_r станет больше напряжения сети на величину ΔE , что вызовет в обмотке генератора протекание реактивного уравнительного тока $I_{ур}$, отстающего от э. д. с. генератора на 90° (рис. 169, а).

Уравнительный ток создает продольно-размагничивающую реакцию якоря, при которой магнитный поток $\Phi_{яд}$ индуцирует в обмотке статора генератора э. д. с. $E_{яд}$, вычитающуюся из э. д. с. генератора E_r , вследствие чего напряжение генератора станет равным напряжению сети: $U_r = U_c$.

Так как угол между вектором э. д. с. E_r и вектором уравнительного тока равен 90° , то генератор не возьмет на себя активной нагрузки, а будет работать с опережающим током относительно напряжения сети, поскольку вектор тока $I_{ур}$ опережает вектор напряжения сети U_c на 90° .

Если уменьшить возбуждение генератора, то, как видно из рисунка 169, б, генератор также не примет на себя активной нагрузки, а будет работать с отстающим током по отношению к напряжению сети. При этом в генераторе уравнительный ток создает продольно-намагничивающую реакцию якоря, при которой магнитный поток $\Phi_{яд}$ индуцирует в обмотке якоря э. д. с. $E_{яд}$, складывающуюся с э. д. с. генератора E_r , вследствие чего напряжение генератора станет равным напряжению сети $U_r = U_c$.

Зависимости общего тока статора генератора, работающего параллельно с мощной сетью, от тока возбуждения при постоянных частоте и напряжении сети и отдаваемой генератором на сеть активной мощности ($P_2 = 0$, $P_2 = 0,5 P_n$ и $P_2 = P_n$) изображены в виде U-образных кривых (рис. 170). На этом рисунке показаны три кривые.

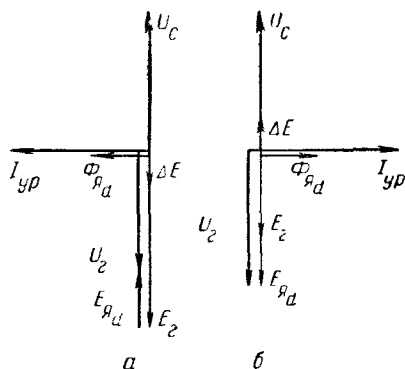


Рис. 169. Векторные диаграммы при параллельной работе синхронного генератора с мощной сетью:

а — при увеличении возбуждения генератора; б — при уменьшении возбуждения генератора.

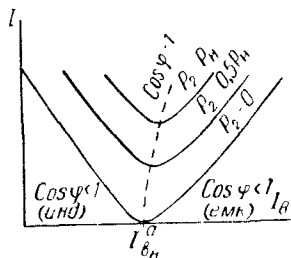


Рис. 170. U-образные кривые синхронного генератора.

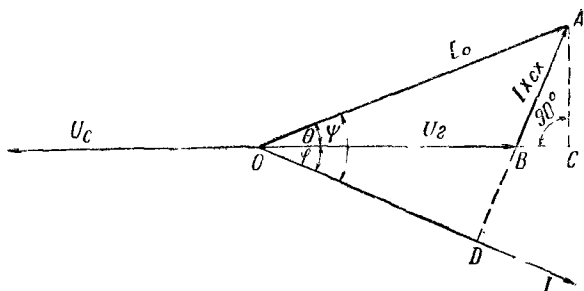


Рис. 174. К выводу формулы (124).

Из точки a вверх проведена пунктирная линия, соответствующая такому значению тока возбуждения $I_{вн}$, при котором ток статора становится минимальным и равным только активной составляющей: $I_{мин} = I_{ст} \cos \varphi$. В этом случае генератор работает при коэффициенте мощности $\cos \varphi = 1$. Отклонение этой пунктирной линии выраво указывает на то, что с возрастанием нагрузки ток возбуждения необходимо увеличивать для поддержания напряжения на зажимах генератора постоянным. В правой части кривая более полого, что объясняется насыщением стали машины. При перевозбуждении генератор будет работать с опережающим током по отношению к напряжению сети, а при уменьшении возбуждения — с отстающим.

Таким образом, при изменении возбуждения генератора изменится только его реактивная мощность. Для того чтобы установить, что нужно сделать, чтобы синхронный генератор, работающий параллельно с мощной сетью, взял на себя активную нагрузку, определим по упрощенной векторной диаграмме синхронного генератора с неявно выраженными полюсами (см. рис. 153), от чего зависит мощность, отдаваемая генератором в сеть. При построении этой диаграммы пренебрегают падением напряжения на активном сопротивлении обмотки как относительно малым (рис. 174).

Построим прямоугольный треугольник OAC , приняв вектор E_0 за гипотенузу. Так как $AB \perp I$, а $AC \perp U$, то угол $BAC = \varphi$.

Известно, что электрическая мощность трехфазного синхронного генератора

$$P_{эл} = 3U_{г}I \cos \varphi. \quad (123)$$

Как видно из рисунка 174,

$$\cos \varphi = \frac{AC}{AB} = \frac{E_0 \sin \theta}{I x_{сх}}.$$

Подставим это значение $\cos \varphi$ в формулу (123):

$$P_{эл} = 3U_{г}I \frac{E_0 \sin \theta}{I x_{сх}}$$

откуда

$$P_{эл} = 3U_{г}E_0 \frac{\sin \theta}{x_{сх}}. \quad (124)$$

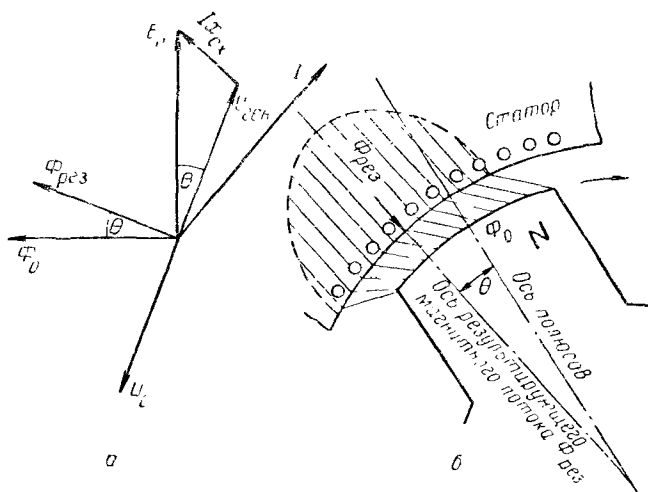


Рис. 172. К понятию об угле θ :
а — на векторной диаграмме; б — в машине.

Следовательно, электрическая мощность, отдаваемая генератором в сеть, зависит от $\sin \theta$, т. е. от угла между вектором э. д. с. E_0 и вектором напряжения $U_{Г}$. На векторной диаграмме θ — это угол между вектором э. д. с. E_0 и вектором напряжения $U_{Г}$ (рис. 172, а). В генераторе угол θ — это угол между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока $\Phi_{рез}$, а так как ось магнитного потока полюсов совпадает с осью полюсов, то угол θ — это угол между магнитным потоком полюсов Φ_0 и результирующим магнитным потоком $\Phi_{рез}$ в машине (рис. 172, б).

Магнитный поток $\Phi_{рез}$ создается результирующими ампер-витками машины, которые являются геометрической суммой ампер-витков полюсов, реакции якоря и рассеяния. Вектор потока $\Phi_{рез}$ опережает вектор создаваемого им напряжения $U_{Г}$ генератора при нагрузке на 90° . Значит, для того чтобы увеличить угол θ , нужно сообщить ротору ускорение. Ротор «забежит» несколько вперед, и угол θ между магнитным потоком полюсов и результирующим магнитным потоком машины увеличится. Относительное положение вектора $\Phi_{рез}$ при этом не изменится, так как этот поток создает напряжение генератора $U_{Г}$, вектор которого находится в противофазе с вектором напряжения U_c сети, очень мощной по сравнению с генератором.

Ускорение ротору можно сообщить путем увеличения питания первичного двигателя, увеличив впуск воды в гидротурбину, дизельного топлива в двигатель и т. п.

Таким образом, активную мощность синхронного генератора, работающего параллельно с мощной сетью, регулируют изменением питания первичного двигателя.

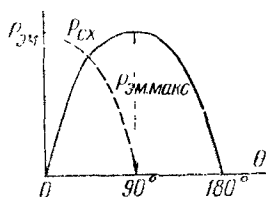


Рис. 173. Угловая характеристика синхронной машины.

Зависимость электрической или электромагнитной мощности генератора, передаваемой с ротора на статор, от угла θ называют *угловой характеристикой* (рис. 173). При увеличении угла θ возрастает отдаваемая генератором в сеть активная мощность.

Величину приращения электромагнитной мощности на единицу угла θ называют *синхронизирующей мощностью*:

$$P_{сх} = \frac{P_{эм2} - P_{эм1}}{\theta_2 - \theta_1}. \quad (125)$$

Вначале электромагнитная мощность при увеличении угла изменяется интенсивно, поэтому и синхронизирующая мощность будет максимальной, а при увеличении угла θ значения синхронизирующей мощности уменьшаются, т. е. если $P_{эм} = 0$, то $P_{сх} = P_{сх, макс}$, а если $P_{эм} = P_{эм, макс}$, то $P_{сх} = 0$.

Так как синхронизирующая мощность характеризует устойчивость при параллельной работе синхронных генераторов, то это значит, что при угле θ , близком к 90° , генератор выпадает из синхронизма. Для устойчивой параллельной работы генераторы должны иметь достаточный резерв синхронизирующей мощности, поэтому их делают такими, чтобы при их номинальной нагрузке угол θ был равен $15 - 25^\circ$. На рисунке 173 пунктирной линией показана кривая синхронизирующей мощности в зависимости от угла θ .

На сельских электростанциях приходится включать на параллельную работу синхронные генераторы соизмеримых мощностей. В этом случае для перевода нагрузки с одного генератора на другой необходимо питание первичного двигателя одного генератора увеличивать, а другого в то же время уменьшать, т. е. мощность на валу одного генератора увеличивать, а на валу другого уменьшать. Для того чтобы напряжение при этом не изменилось, следует также регулировать возбуждение обоих генераторов.

При изменении возбуждения параллельно работающих генераторов можно перераспределять между ними реактивную мощность.

КАРТОЧКА № 89 (225)

Параллельная работа синхронных генераторов на мощную сеть

Чем определяется угол сдвига по фазе между уравнивающим током и э. д. с. ΔE , которая равна разности э. д. с. генератора и напряжения сети?	Соотношением между индуктивными и активными сопротивлениями обмоток якорей генераторов	786
	Характером (индуктивная, активная, емкостная) нагрузок	1274
	Двумя факторами, указанными выше	801

Э. д. с. генератора меньше напряжения сети и находится с ним в противофазе. Укажите угол сдвига по фазе между током генератора и напряжением сети	Ток генератора и напряжение сети совпадают по фазе	1289
	Ток генератора отстает от напряжения сети на угол 90°	982
	Ток генератора опережает напряжение сети на угол 90°	1133
Э. д. с. генератора больше напряжения сети и находится с ним в противофазе. Каков угол сдвига по фазе между током генератора и напряжением сети?	Ток генератора отстает от напряжения сети на угол 90°	820
	Ток генератора опережает напряжение сети на угол 90°	1306
Можно ли изменить: а) активную и б) реактивную мощность, отдаваемую генератором, изменив его ток возбуждения?	а) можно; б) можно	1000
	а) можно; б) нельзя	1149
	а) нельзя; б) можно	837
Как увеличить активную мощность, отдаваемую синхронным генератором в сеть?	Увеличить ток возбуждения	1321
	Увеличить вращающий момент двигателя или турбины, приводящей генератор в действие	1014
	Увеличить коэффициент мощности нагрузки	1164

Если увеличивать возбуждение, допустим, первого генератора, а второго уменьшать, то коэффициент мощности первого генератора будет ухудшаться, а второго улучшаться. Продолжая увеличивать возбуждение первого генератора и уменьшать возбуждение второго, можно добиться такого положения, когда первый генератор будет давать реактивный ток не только в сеть, но и второму генератору, работающему с недовозбуждением.

§ 4. Колебания при параллельной работе синхронных машин

Всякое изменение нагрузки на генератор связано с изменением угла θ — угла сдвига оси полюсов ротора относительно того положения, которое эта ось занимала при работе генератора холостую.

В случае резкого изменения питания первичного двигателя, например при быстром открытии направляющих лопаток водяной турбины, произойдет быстрое продвижение ротора в сторону его вращения, но под действием инерции ротора он повернется на угол θ_1 ,

больший угла θ , при котором вращающий момент первичного двигателя равен электромагнитному тормозящему моменту генератора. Так как электромагнитный момент генератора зависит от угла θ , то при его увеличении повысится тормозящий электромагнитный момент (он станет больше вращающего момента первичного двигателя), нарушится равновесие моментов, вследствие чего ротор начнет поворачиваться в сторону уменьшения угла θ . Однако силы инерции снова помешают ротору остановиться в положении, при котором угол θ будет соответствовать электромагнитному моменту генератора, равному вращающему моменту первичного двигателя. Ротор займет положение, при котором $\theta_2 < \theta$. Затем под действием избыточного момента первичного двигателя ротор снова повернется на угол $\theta_1 > \theta$ и т. д.

Таким образом, ротор будет колебаться около среднего положения, соответствующего углу θ , продолжая вращаться с синхронной скоростью. Такие колебания, вызванные изменением нагрузки на генератор или изменением величины вращающего момента первичного двигателя, называют *собственными*. Поскольку эти колебания сопровождаются потерями энергии в роторе на вихревые токи в его металлических частях, то они быстро затухают. Для ускорения затухания колебаний в наконечниках полюсов ротора предусматривают демпферную обмотку наподобие «беличьей клетки» (см. рис. 132).

В проводах демпферной обмотки при возникновении колебаний индуцируются вихревые токи, которые способствуют быстрому затуханию колебаний.

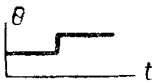
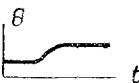
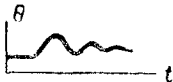
Кроме собственных, могут возникнуть и *вынужденные колебания*, вызванные неравномерным вращением первичного двигателя (например, малоцилиндровых дизельных двигателей или локомотивов). Такие двигатели, как паровые и водяные турбины или многоцилиндровые дизели, не создают вынужденных колебаний.

Наиболее опасен резонанс колебаний, когда периоды вынужденных и собственных колебаний совпадают. В этом случае параллельная работа синхронных машин становится невозможной, они выпадают из синхронизма.

КАРТОЧКА № 90 (231)

Колебания при параллельной работе синхронных машин

Какой угол не принято обозначать буквой θ ?	Угол между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока	855
	Угол между векторами э. д. с. и напряжения генератора	1341
	Угол между векторами напряжения и тока генератора	1028

Как изменился угол θ , если активная мощность синхронного генератора увеличилась?	Увеличился	1179
	Не изменился	869
	Уменьшился	1356
Какой график показывает изменение угла θ с течением времени при условии, что активная мощность синхронного генератора резко увеличилась?		1043
		1195
		886
Каково назначение демпферной обмотки в синхронном генераторе?	Ограничивать колебания напряжения на зажимах генератора после изменения нагрузки	1373
	Ограничивать колебания ротора около положения равновесия (после изменения нагрузки)	732
При сбросе нагрузки возникают затухающие колебания ротора синхронного генератора с частотой 30 Гц. Вращающий момент приводного двигателя немного изменяется с той же частотой. Можно ли генератор с таким приводом включать на параллельную работу в сеть?	Можно	1210
	Нельзя	906

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Включение синхронных генераторов на параллельную работу

Цель работы. Изучить способы включения синхронных генераторов на параллельную работу и регулирование активной и реактивной мощностей.

План работы. 1. Ознакомиться с конструкцией и данными синхронных генераторов, подобрать необходимые для проведения опыта приборы.

2. Собрать схему опыта для синхронизации генератора с сетью при помощи лампового синхроскопа.

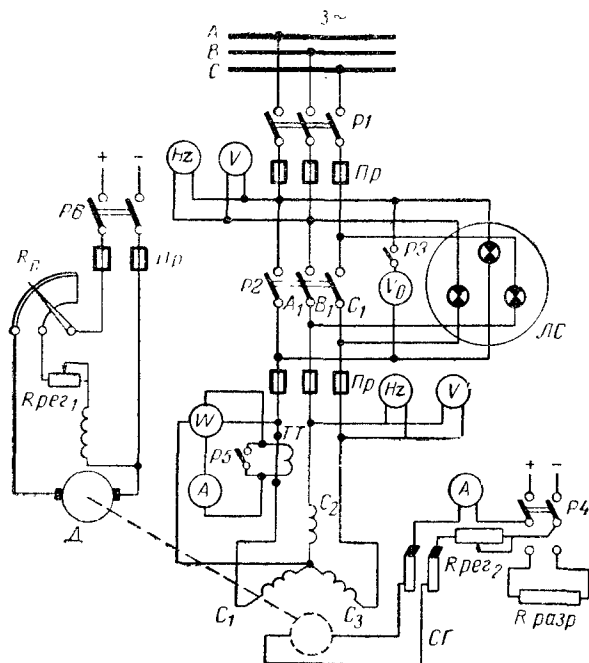


Рис. 174. Схема синхронизации синхронных генераторов:

$P1 - P6$ — рубильники; $Пр$ — предохранители; $ЛС$ — ламповый синхроскоп; $ТТ$ — трансформатор тока; $R_{рег1}$ — шунтовой реостат в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока; $R_{рег2}$ — регулировочный реостат в цепи возбуждения синхронного генератора; $R_{разр}$ — разрядное сопротивление; $R_{ц}$ — пусковой реостат; $Д$ — двигатель постоянного тока; $СГ$ — синхронный генератор.

3. Включить синхронный генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации.

4. Собрать схему опыта для включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью методом самосинхронизации и включить его в сеть.

5. Осуществить регулирование активной и реактивной мощности генератора.

6. Схемы и результаты опыта записать в отчет.

Пояснения к работе. На параллельную работу (рис. 174) с сетью генератор включают при помощи лампового синхроскопа, лампы которого рассчитаны на двойное фазное напряжение. Синхроскоп соединен по схеме «на вращение света». Более точно момент включения определяют по нулевому вольтметру. В цепь генератора ставят вольтметр, амперметр и ваттметр, при помощи которого измеряют мощность синхронной машины в режимах генератора и двигателя.

На параллельную работу генератор включают в следующем порядке. Замыкают рубильник $P1$, лампы синхроскопа оказываются под напряжением сети и затораются. Рубильником $P3$ отключают нулевой вольтметр. Запускают при помощи двигателя постоянного тока синхронный генератор и возбуждают его, замкнув рубильником $P1$ цепь постоянного тока. Напряжение и частота включаемого синхронного генератора и сети должны быть равны.

Если включаемый генератор вращается медленнее, чем пульт, свет в ламповом синхроскопе вращается против часовой стрелки, а если быстрее — по часовой стрелке.

Изменяют число оборотов ротора генератора и, если вращение света станет медленным, включают рубильником $P3$ нулевой вольтметр. В сеть генератор включают в тот момент, когда вращение света прекратится, лампа, подключенная к одноименным фазам, погаснет, а две другие будут гореть одинаково ярким светом и стрелка нулевого вольтметра будет медленно подходить к нулю. Если стрелка нулевого вольтметра идет от нуля, быстро приближается к нулю или остановилась на нуле, включать генератор в сеть нельзя.

Если лампы синхроскопа при схеме включения «на вращение света» гаснут и загораются одновременно, то это свидетельствует о том, что порядок чередования фаз генератора и сети одинаков. Чтобы сделать порядок чередования фаз одним и тем же, нужно поменять местами два провода любых фаз, подходящих к рубильнику $P2$ от генератора, при этом схема включения ламп синхроскопа должна остаться без изменений.

Необходимо отметить, что обозначение фаз сети A, B, C или фаз генератора A_1, B_1, C_1 чисто условное, поэтому не имеет значения, совпадают они или нет. Главное, чтобы был одинаков порядок чередования фаз в сети и генераторе. Совпадение порядка чередования фаз можно проверить при помощи фазоуказателя.

Увеличивая скорость первичного двигателя, следят за работой синхронной машины в режиме генератора и, уменьшая скорость первичного двигателя, в режиме двигателя.

Для остановки синхронного генератора его сначала разгружают, потом отключают от сети рубильником $P2$, а затем снимают возбуждение и останавливают первичный двигатель.

Чтобы включить синхронный генератор на параллельную работу методом самосинхронизации, используют ту же схему, но нулевой вольтметр и синхроскоп можно отключить. Так как ток статора генератора при включении его в сеть методом самосинхронизации достигает 5—7-кратного значения номинального, токовую обмотку ваттметра и амперметра закорачивают рубильником $P5$ на период пуска.

Скорость вращения невозбужденного генератора определяют стробоскопическим методом. Для этого на конец вала подключаемого генератора наклеивают диск с числом закрашенных секторов, равным числу полюсов (рис. 175). Диск освещают основной лампой дневного света. При совпадении частот генератора и сети закрашенные секторы диска кажутся неподвижными. Если подключаемый генератор вращается быстрее работающего на сеть, то секторы медленно вращаются по направлению вращения генератора, а если подключаемый генератор вращается медленнее работающего на сеть, то секторы вращаются в сторону, противоположную направлению вращения генератора.

На параллельную работу методом самосинхронизации генератор включают в следующем порядке.

Рубильником $P4$ замыкают обмотку возбуждения ротора на сопротивление $R_{разр}$. Если генератор получает возбуждение от собственного возбудителя, то его обмотка возбуждения замкнута на обмотку якоря возбудителя, и тогда рубильник $P4$ не нужен. Закорачивают рубильником $P5$ токовую катушку ваттметра и амперметр. Разворачивают первичным двигателем синхронный генератор, не давая ему возбуждения, и, наблюдая за стробоскопом, устанавливают скорость вращения генератора, близкую к синхронной. Затем включают обмотку статора синхронного генератора в сеть и сразу после этого в обмотку возбуждения синхронного генератора, замкнув рубильник $P4$, подают постоянный ток, после чего генератор втягивается в синхронизм.

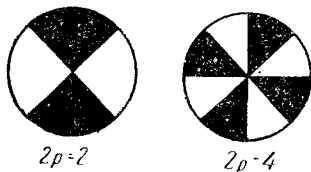


Рис. 175. Диски для определения совпадения частот генераторов стробоскопическим методом.

В дальнейшем работа выполняется так же, как и при точной синхронизации.

Активную мощность генератора регулируют изменением питания первичного двигателя, в данном опыте уменьшают или увеличивают ток возбуждения двигателя постоянного тока. Вследствие этого ротор генератора в первом случае получит ускорение, и отдаваемая им на сеть активная мощность увеличится, во втором случае движение ротора замедлится, тогда мощность генератора уменьшится.

Для регулирования реактивной мощности генератора изменяют его возбуждение.

Глава XXII

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И КОМПЕНСАТОРЫ

§ 1. Принцип действия синхронного двигателя

Синхронные машины обладают свойством обратимости, т. е. могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

Конструктивно синхронный двигатель ничем не отличается от синхронного генератора.

Принцип действия синхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем полюсов ротора.

К статору синхронного двигателя подводят трехфазный переменный ток, а к обмотке возбуждения ротора — постоянный ток.

Трехфазный переменный ток создает вращающееся магнитное поле, скорость которого

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ об/мин,}$$

где f_1 — частота переменного тока, Гц;

p — число пар полюсов.

Представим себе магнитное поле статора в виде круга с явно выраженными полюсами на нем, вращающегося со скоростью n_1 об/мин. Эти полюса магнитными силовыми линиями связываются с полюсами ротора противоположной полярности (рис. 176, а).

Вращающееся магнитное поле увлекает за собой полюса ротора и заставляет их вращаться с такой же скоростью. Скорость вращения ротора, равную скорости вращающегося магнитного поля, называют синхронной. При нагрузке ротор синхронного двигателя отстает на некоторый угол от вращающегося магнитного поля, причем с увеличением нагрузки угол θ увеличивается (рис. 176, б).

Рис. 176. Принцип действия синхронного двигателя:

а — при холостом ходе; б — при нагрузке.

имеет вид синусоиды. При номинальной мощности двигателя угол $\theta = 20-30^\circ$, при этом перегрузочная способность двигателя $\frac{M_{\max}}{M_H} = 2 \div 3$. Вращающий мо-

мент синхронного двигателя пропорционален приложенному напряжению. Ротор вращается с синхронной скоростью, не зависящей от нагрузки.

При вращении ротора магнитный поток полюсов Φ_0 пересекает витки обмотки статора и индуцирует в них э. д. с. E_0 . Согласно уравнению равновесия э. д. с., приложенное к двигателю напряжение U_c сети уравнивается суммой обратных э. д. с. $\Sigma E_{\text{дв}}$ двигателя. На основании этого уравнения нарисуем векторную диаграмму синхронного двигателя (рис. 178). Вектор тока I откладываем вертикально. Под углом φ в сторону опережения откладываем вектор напряжения сети U_c . В фазе с вектором тока изображаем векторы магнитного потока $\Phi_{\text{я}}$ якоря и потока $\Phi_{\text{рс}}$ рассеяния, каждый из которых индуцирует соответствующие э. д. с. $E_{\text{я}}$ и $E_{\text{рс}}$, отстающие от вектора магнитного потока на 90° . Откладываем на векторной диаграмме вектор $E_{\text{я}}$ и приставляем к нему вектор $E_{\text{рс}}$. Сумма этих э. д. с. равна падению напряжения на синхронном индуктивном сопротивлении $x_{\text{сх}}$ двигателя: $E_{\text{я}} + E_{\text{рс}} = I x_{\text{сх}}$. Таким образом, зная значение $x_{\text{сх}}$, можно вычислить суммы векторов $E_{\text{я}} + E_{\text{рс}}$.

Так как из уравнения равновесия э. д. с. известно, что напряжение U_c сети уравнивается суммой э. д. с. двигателя, то откладываем вектор OA , равный и противоположный по направлению век-

тору напряжения U_c сети, который и будет представлять сумму э. д. с. $\Sigma E_{\text{дв}}$ двигателя. Вектор противо-э. д. с. E_0 двигателя определится как третья сторона треугольника OAB , где известны стороны OA и OB . Из этой векторной диаграммы видно, что

$$\Sigma \vec{E}_{\text{дв}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{\text{я}} + \vec{E}_{\text{рс}}. \quad (126)$$

Вектор напряжения U_c сети разложим на две составляющие, каждая из которых уравнивает соответствующую обратную э. д. с. В данном случае составляющая $-E_0$ уравнивает э. д. с. E_0 , а составляющая $I x_{\text{сх}}$ уравнивает э. д. с. $E_{\text{я}}$ и $E_{\text{рс}}$.

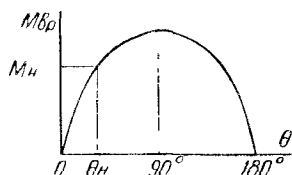


Рис. 177. Угловая характеристика синхронного двигателя.

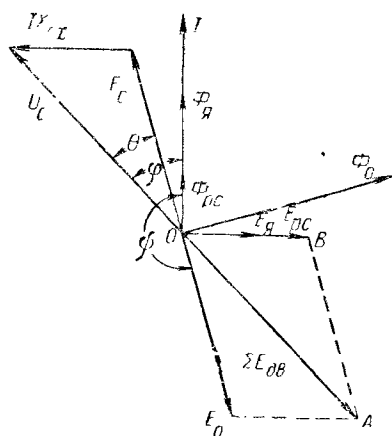
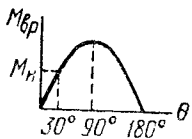


Рис. 178. Векторная диаграмма синхронного двигателя.

Принцип действия синхронного двигателя

На статоре трехфазного синхронного двигателя размещено 6 катушек, которые питаются трехфазным током частотой 50 Гц. Определите скорость вращающегося магнитного поля, если $p = 2$	3000 об/мин	921
	1500 об/мин	1069
Ротор синхронного двигателя вращается со скоростью 3000 об/мин. С какой скоростью вращается магнитное поле статора?	3000 об/мин	757
	1500 об/мин	1242
	Задача неопределенна, так как неизвестно число пар полюсов двигателя	935
	Задача неопределенна, так как неизвестна частота тока	1086
Зависимость вращающего момента синхронного двигателя от угла θ имеет синусоидальный характер. Двигатель развивает номинальный момент при $\theta = 30^\circ$. Определите перегрузочную способность двигателя 	$k_{II} = 2$	802
	$k_{II} = 3$	803
	Задача неопределенна, так как неизвестна величина номинального момента	1290
	Задача неопределенна, так как неизвестна величина максимального момента	983
Как изменилась скорость вращения синхронного двигателя, если механическая нагрузка на его валу увеличилась?	Увеличилась	1134
	Не изменилась	821
	Уменьшилась	1307
Механическая нагрузка на валу синхронного двигателя увеличилась. Как изменился угол θ?	Увеличился	1150
	Не изменился	838
	Уменьшился	1322

§ 2. Рабочие характеристики синхронного двигателя

Рабочими характеристиками синхронного двигателя называют зависимости скорости n_2 вращения ротора, тока статора I , подводенной мощности P_1 , полезного вращающего момента M_2 , коэффициента мощности $\cos \varphi$ и к. п. д. η от полезной мощности на валу двигателя P_2 при постоянных значениях напряжения U_c сети, частоты сети f_1 и тока возбуждения I_B (рис. 179).

Так как скорость n_2 вращения ротора не зависит от нагрузки и равна скорости вращающегося магнитного поля, то при постоянной частоте f_1 график $n_2 = f(P_2)$ имеет вид прямой линии, параллельной оси абсцисс. Полезный момент на валу двигателя $M_2 = \frac{P_2}{\omega_1}$, а так как $\omega_1 = \text{const}$, то график $M_2 = f(P_2)$ представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат.

Необходимо отметить, что в отличие от вращающего момента асинхронного двигателя вращающий момент синхронного двигателя пропорционален напряжению сети: $M_2 \equiv U_c$.

Подведенная к двигателю мощность P_1 состоит из полезной мощности P_2 и суммы потерь. Поскольку потери в меди пропорциональны квадрату тока нагрузки, то кривая $P_1 = f(P_2)$ несколько изогнута вверх, так как P_1 растет быстрее, чем P_2 . С увеличением нагрузки $\cos \varphi$ уменьшается, поэтому кривая $\cos \varphi = f(P_2)$ слегка изогнута книзу.

Ток I_1 с увеличением нагрузки P_2 увеличивается несколько быстрее, чем P_1 , вследствие уменьшения $\cos \varphi$. Наибольший к. п. д. соответствует нагрузке 0,5–0,75 P_n .

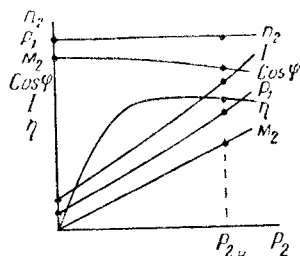
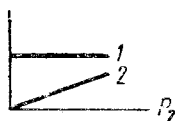


Рис. 179. Рабочие характеристики синхронного двигателя.

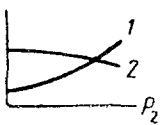
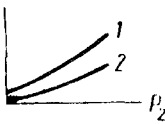
КАРТОЧКА № 92 (282)

Рабочие характеристики синхронного двигателя

Изображены рабочие характеристики синхронного двигателя. Какие зависимости отображают эти прямые?



1. $n_2 = f(P_2)$; 2. $P_1 = f(P_2)$	887
1. $n_2 = f(P_2)$; 2. $M_2 = f(P_2)$	1374
1. $\cos \varphi = f(P_2)$; 2. $P_1 = f(P_2)$	1211

Какие зависимости отображают эти рабочие характеристики синхронного двигателя? 	1. $n_2 = f(P_2)$; 2. $P_1 = f(P_2)$	1226
	1. $\cos \varphi = f(P_2)$; 2. $P_1 = f(P_2)$	1070
	1. $P_1 = f(P_2)$; 2. $\cos \varphi = f(P_2)$	936
Какие зависимости отображают эти рабочие характеристики синхронного двигателя? 	1. $P_1 = f(P_2)$; 2. $I = f(P_2)$	1087
	1. $I = f(P_2)$; 2. $P_1 = f(P_2)$	1259
	1. $I = f(P_2)$; 2. $M_2 = f(P_2)$	804
Чему равен к. п. д. синхронного двигателя, работающего в режиме холостого хода?	Нулю	1294
	Очень малой величине	984
	Максимальному значению	1135
Почему ток, потребляемый из сети синхронным двигателем, не равен нулю, когда двигатель работает в режиме холостого хода?	Вследствие потерь	822
	Потому что сопротивление обмотки статора не может быть бесконечно большим	1151
	Потому что скорость двигателя во всех случаях ограничена	839

§ 3. Пуск синхронных двигателей

Пуск синхронного двигателя прямым включением в сеть невозможен, так как ротор, удерживаемый силами инерции вращающихся частей, не может быть сразу увлечен магнитным полем статора, синхронная скорость которого устанавливается только после включения статора в сеть.

Для пуска синхронного двигателя в ход необходимо развернуть его ротор до скорости, близкой к синхронной, при которой между

статором и ротором возникнет магнитная связь, и ротор, войдя в синхронизм, будет вращаться с синхронной скоростью.

Синхронный двигатель можно пустить в ход от вспомогательного двигателя. Для этого ротор синхронного двигателя разворачивают до синхронной скорости вспомогательным двигателем, мощность которого составляет 5—15% мощности синхронного двигателя, затем, когда основной двигатель войдет в синхронизм, его включают в сеть. После включения в сеть вспомогательный двигатель отъединяют от синхронного двигателя.

При этом способе пуска синхронный двигатель может быть пущен в ход только без нагрузки, так как мощность вспомогательного двигателя мала. Сейчас такой способ пуска почти нигде не применяют.

Получил распространение метод асинхронного пуска синхронного двигателя. Для этого в наконечниках полюсов ротора помещают пусковую обмотку, выполненную в виде безлещей клетки (см. рис. 132), при помощи которой синхронный двигатель пускают в ход, как асинхронный (рис. 180, а). После включения статора в сеть в его обмотке создается вращающееся магнитное поле, которое, пересекая короткозамкнутые стержни пусковой обмотки, индуцирует в них э. д. с., вследствие чего по пусковой обмотке проходит ток. Магнитное поле, создаваемое током пусковой обмотки, взаимодействует с магнитным полем полюсов, в результате чего создается вращающий момент, разворачивающий ротор до скорости, близкой к синхронной. Затем в обмотку возбуждения ротора подают постоянный ток, и двигатель втягивается в синхронизм. Порядок пуска синхронного двигателя следующий.

Перед пуском двигателя в ход обмотку возбуждения ротора замыкают на разрядное сопротивление R . Если этого не сделать, то вращающееся магнитное поле статора, пересекая витки обмотки возбуждения ротора, будет индуцировать в ней значительную э. д. с. (3000—4000 В и более), которая представляет опасность для обслуживающего персонала и для целостности изоляции обмотки. Величина разрядного сопротивления должна быть примерно в 8—10 раз больше активного сопротивления обмотки возбуждения.

После этого рубильником PI подают напряжение сети на обмотку статора, ротор разворачивается до скорости, близкой к синхронной, переводят переключатель II на верхние зажимы, замкнув тем самым цепь тока возбуждения. Конструкция переключателя должна быть такой, чтобы переключение осуществлялось без разрыва цепи обмотки ротора, т. е. сначала в контакт входит верхние ножи переключателя II , а затем сразу же размыкаются нижние. После подачи в обмотку ротора постоянного тока двигатель втягивается в синхронизм.

Для того чтобы зафиксировать момент вхождения двигателя в синхронизм, в цепь обмотки ротора иногда включают амперметр магнитно-электрической системы с нулем посередине шкалы. После разгона ротора двигателя в обмотке возбуждения ротора будет

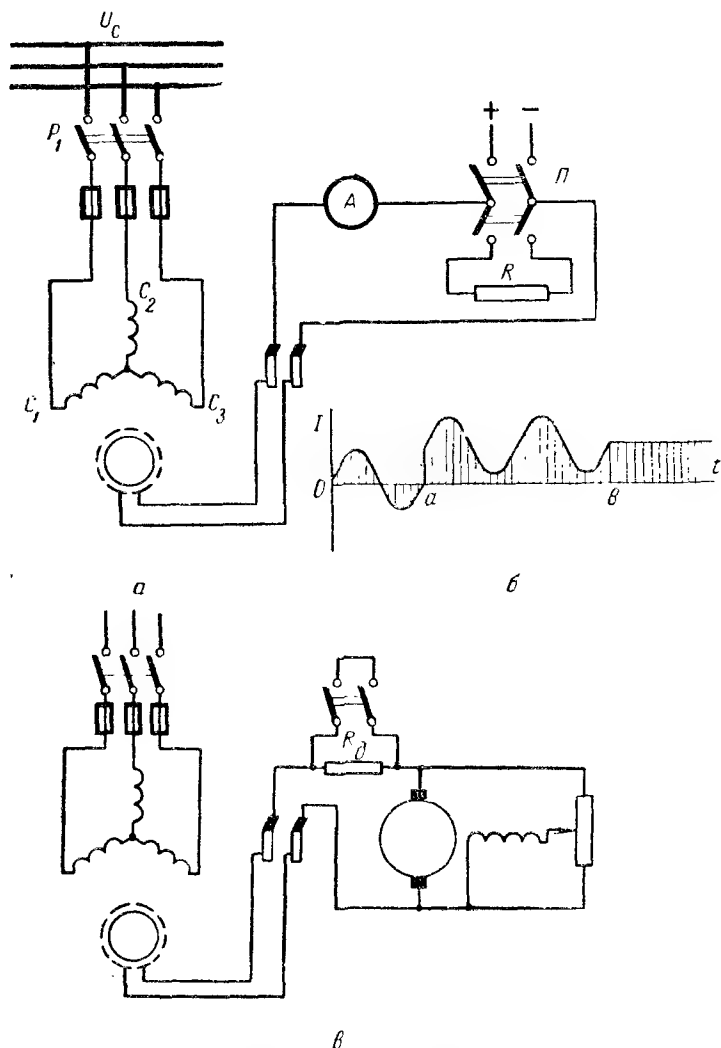


Рис. 180. Асинхронный пуск синхронного двигателя в ход:
 а — схема; б — токи в обмотке возбуждения ротора при пуске; в — пуск
 в ход с глухоприсоединенным возбудителем.

индуктироваться переменный ток небольшой частоты (2—3 Гц), который, проходя по амперметру, отклоняет его стрелку то вправо, то влево (рис. 180, б). Пока ротор не войдет в синхронизм, постоянный и переменный токи (рис. 180, б) складываются (участок а в). в результате чего стрелка амперметра колеблется, отклоняясь все время в одну сторону. Когда двигатель войдет в синхронизм (точка в), в обмотках ротора протекает только постоянный ток. Прекра-

чение колебаний стрелки амперметра свидетельствует о вхождении двигателя в синхронизм.

При асинхронном пуске возникают пусковые токи, в 5—7 раз превышающие номинальный ток двигателя. Для уменьшения пусковых токов применяют автотрансформаторы, понижающие подводимое к двигателю напряжение.

КАРТОЧКА № 93 (237)

Пуск синхронных двигателей

Что надо сделать, чтобы ротор синхронного двигателя втянулся в синхронизм?	Увеличить напряжение сети	1323
	Увеличить ток возбуждения	1015
	Раскрутить ротор до скорости, близкой к синхронной	1165
	Можно использовать любой из приемов, перечисленных выше	1342
Какой способ пуска синхронного двигателя не применяется?	При помощи вспомогательного двигателя	1029
	Асинхронный пуск с ротором, замкнутым на гасящее сопротивление	1180
	Асинхронный пуск с глухоприсоединенным возбудителем	870
	Многоступенчатый пуск через ограничительные сопротивления в цепи обмоток статора	1357
Стрелка амперметра, включенного в цепь обмотки ротора синхронного двигателя, колеблется возле некоторого ненулевого положения. В каком режиме работы находится двигатель?	Скорость близка к синхронной, но возбуждение еще не включено	1044
	Скорость близка к синхронной, включено возбуждение, но двигатель еще не вошел в синхронизм	1196
	Двигатель вошел в синхронизм	888
Какой ток потребляет синхронный двигатель при асинхронном пуске, если при номинальной нагрузке на валу он потребляет из сети ток 10 А?	7 А	1375
	50 А	1212
Почему при асинхронном пуске обмотку ротора синхронного двигателя замыкают на сопротивление, а не оставляют разомкнутой?	Чтобы уменьшить напряжение на зажимах обмотки ротора при пуске	907
	Чтобы уменьшить ток в обмотке ротора при пуске	1227

Сейчас внедряют упрощенный способ пуска синхронных электродвигателей — с глухоприсоединенным возбудителем. Этот способ пуска применяют при нагрузке на валу двигателя, не превышающей 50% его номинальной мощности.

Пуск осуществляют по двум схемам: а) с присоединенным возбудителем к обмотке возбуждения ротора через добавочное сопротивление R_d с последующим его замыканием накоротко и подачей полного возбуждения (рис. 180, а); б) с непосредственным присоединением якоря возбудителя к обмотке возбуждения.

При пуске по схеме с глухоприсоединенным якорем возбудителя обмотка возбуждения ротора замкнута на небольшое по величине сопротивление обмотки якоря. В этом случае при возрастании момента сопротивления на валу двигателя увеличивается время разгона двигателя и замедляется втягивание его в синхронизм.

При значительном увеличении момента сопротивления синхронный двигатель может не втянуться в синхронизм.

Порядок остановки синхронного двигателя следующий:

- 1) уменьшают общий ток статора, устанавливая нормальное возбуждение;
- 2) отключают статор от сети;
- 3) после отключения статора снимают возбуждение, замыкая ротор на разрядное сопротивление.

§ 4. Новые типы синхронных машин

В СССР была выпущена опытная серия трехфазных бесконтактных синхронных электродвигателей серии СО мощностью от 2,2 до 13 кВт при скорости вращения 1500 об/мин и от 1,5 до 10 кВт при 1000 об/мин, которые предназначены для привода рабочих машин (взамен соответствующих асинхронных двигателей).

Расшифровка обозначения: С — синхронный, О — обдуваемый; первая цифра после букв — габарит наружного диаметра сердечника статора; вторая цифра — габарит длины сердечника (первый или второй); цифра после тире — число полюсов. Например, марку СО-71-4 расшифровывают так: синхронный, обдуваемый, седьмой габарит по наружному диаметру сердечника статора, первый габарит по его длине, четыре полюса.

Для синхронных двигателей опытной серии использованы некоторые детали и части асинхронных двигателей единой серии А2 и АО2 (сталь статора, подшипниковые узлы, вентиляторы и др.).

Двигатели серии СО, конструкция которых показана на рисунках 181 и 182, являются бесконтактными синхронными машинами с внешним магнитопроводом и котлеобразными полюсами.

В пазах статора выполнены две обмотки (рис. 183) — главная $1C_1$, $1C_2$ и $1C_3$ и дополнительная $2C_1$, $2C_2$ и $2C_3$.

Главная обмотка подключается к сети при работе двигателя, от дополнительной обмотки питаются полупроводниковый выпрямитель возбуждения и пусковая автоматика системы возбуждения. На

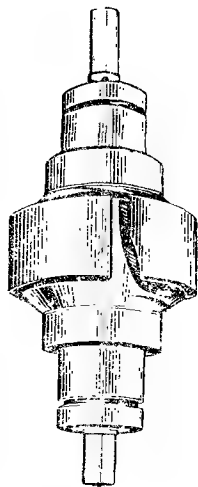


Рис. 182. Ротор бесконтактного синхронного электродвигателя основного исполнения.

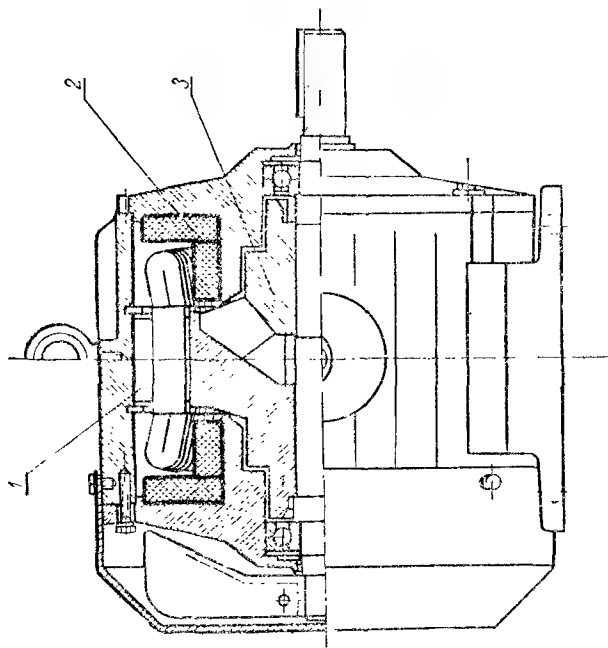


Рис. 181. Устройство бесконтактного синхронного электродвигателя:
1 — статор с обмотками основной и дополнительной; 2 — постоянные магниты; 3 — ротор с магнитными полюсами.

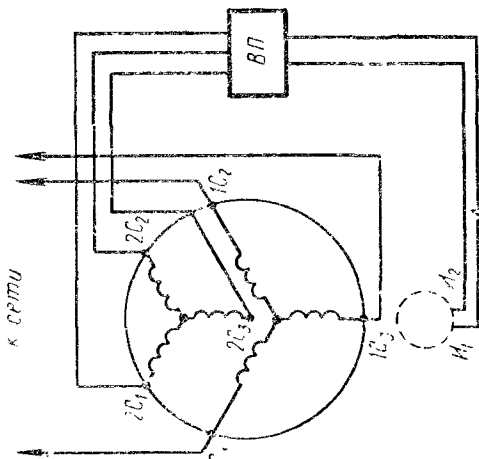


Рис. 183. Схема бесконтактного синхронного двигателя основного исполнения.

выступах подшипниковых щитов расположена неподвижная обмотка возбуждения 2 (см. рис. 181), выводы которой на схеме обозначены буквами H_1 и H_2 (рис. 183).

Ток в обмотку возбуждения поступает от выпрямителя ВП. При прохождении постоянного тока по обмотке возбуждения в когтеобразных полюсах ротора создается сильное постоянное магнитное поле, которое, взаимодействуя с вращающимся магнитным полем статора, заставляет ротор вращаться синхронно.

Направление тока в обмотках возбуждения выбрано так, что если в левой части ротора когтеобразные полюса имеют северную полярность, то в правой части ротора они имеют южную полярность, т. е. полярность полюсов чередуется.

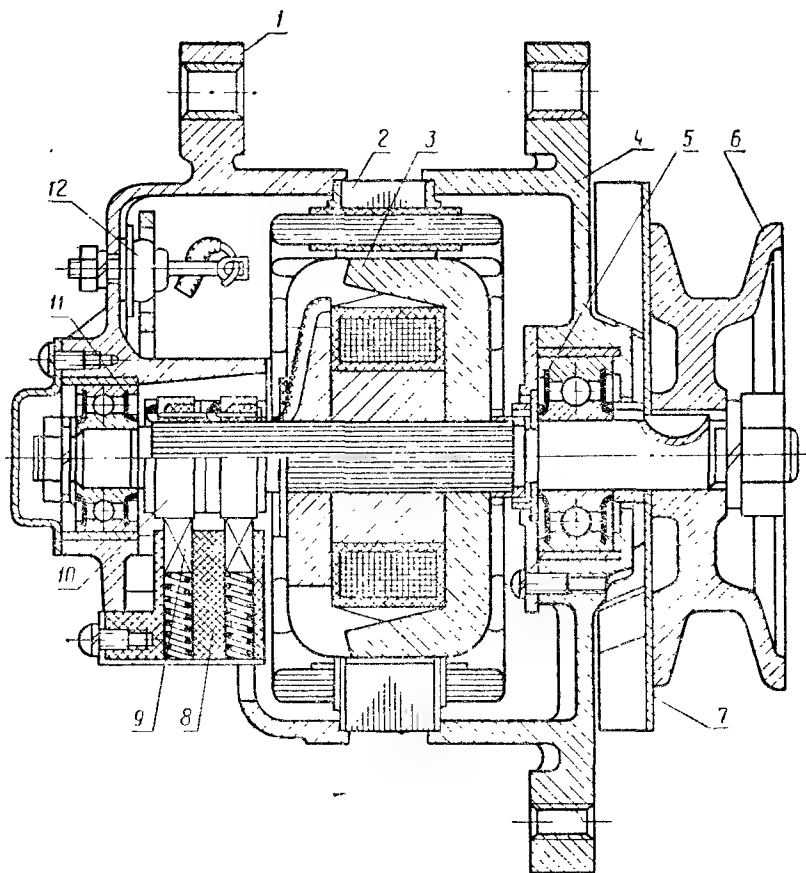


Рис. 184. Генератор переменного тока Г-250 с электромагнитным возбуждением:
1, 4 — подшипниковые щиты; 2 — статор с обмоткой; 3 — ротор; 5 — шарикоподшипники;
6 — шкив; 7 — щеткодержатель; 8 — коллектор; 9 — обмотка; 10 — контактное
кольцо; 11 — крышка подшипника; 12 — диод.

Асинхронный пуск двигателей осуществляется за счет вихревых токов, образующихся в массивных когтеобразных полюсах.

Во время асинхронных режимов (пуск, выпадение из синхронизма при перегрузках и т. п.) выпрямители защищены от перенапряжений, возникающих в обмотке возбуждения, при помощи специального устройства с бесконтактным или обычным реле.

Двигатели рассчитаны для работы с номинальным коэффициентом мощности $\cos \varphi_n = 1$, при частоте 50 Гц и напряжении сети 220 и 380 В.

При недогрузке двигатель работает с опережающим током, причем величина реактивной мощности в этом случае зависит от степени недогрузки двигателя.

Коэффициент полезного действия двигателей находится в пределах 0,81–0,88, перегрузочная способность $k_M = \frac{M_{\max}}{M_n} = 1,4$, пусковой ток при асинхронном пуске в пределах $I_n = (2 \div 2,5) I_n$.

Необходимо отметить, что исследования опытной серии продолжаются и вопрос о массовом выпуске таких двигателей еще не решен.

В настоящее время на многих тракторах и автомобилях вместо генераторов постоянного тока устанавливают генераторы переменного тока, обладающие по сравнению с первыми рядом преимуществ.

Самым простым является разработанный ранее генератор переменного тока типа Г-46 с постоянными магнитами на роторе. В нем осуществлено саморегулирование напряжения при изменении скорости вращения генератора. При увеличении скорости вращения возрастает э. д. с. генератора, но вместе с тем повышается и частота тока, вследствие чего увеличиваются индуктивное сопротивление обмоток и падение напряжения в них (и наоборот). Таким образом, напряжение генератора при изменении скорости его вращения изменяется в некоторых пределах незначительно.

В бесконтактных генераторах типа Г-304 А1 с электромагнитным возбуждением две неподвижные обмотки возбуждения ротора размещены на подшипниковых цапфах аналогично конструкции

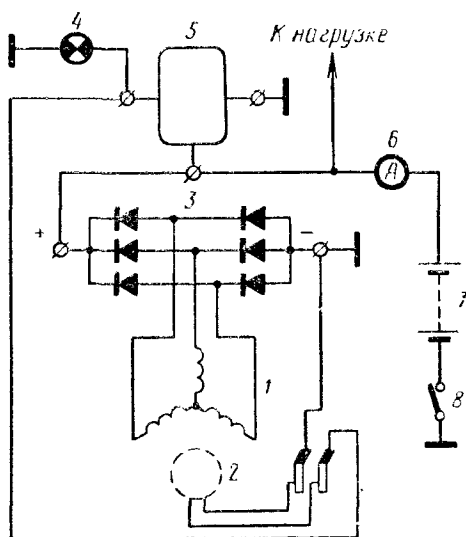


Рис. 185. Принципиальная схема электропитания от генератора переменного тока Г-250:

1 — обмотка статора генератора; 2 — обмотка возбуждения ротора; 3 — кремниевые выпрямители; 4 — сигнальная лампа; 5 — реле-регулятор; 6 — амперметр; 7 — аккумуляторная батарея; 8 — выключатель батареи «на корпус».

бесконтактного синхронного двигателя (см. рис. 181). В корпусе этого генератора встроены выпрямители на кремниевых диодах, а напряжение генератора регулируется контактно транзисторным реле-регулятором.

У генератора типа Г-250 (рис. 184) обмотка возбуждения размещена на вращающемся роторе 3 и питается постоянным током от аккумуляторной батареи через щетки 9 и контактные кольца 10. Обмотка статора 2 соединена в звезду.

Напряжение генератора регулируется контактно транзисторным реле-регулятором 5 (рис. 185). Переменный ток выпрямляется кремниевыми диодами 12 (рис. 184) и 3 (рис. 185).

На выпрямителях выводы постоянного тока маркированы красным цветом («плюс») и черным или синим («минус»), а выводы переменного тока — желтым цветом.

Для предотвращения разряда батареи через обмотку возбуждения ее отключают от корпуса выключателем 8.

Напряжение выпрямленного тока генераторов 12 В, а их мощности: Г-46 — 180 Вт, Г-250 — 500 Вт, Г-253 — 475 Вт, Г-256 — 1250 Вт, Г-270 — 500 Вт.

КАРТОЧКА № 94 (234)

Новые типы синхронных машин

Какова скорость вращения двигателя СО 714, включенного в сеть, частота тока которой равна 50 Гц?	750 об/мин	1071
	1000 об/мин	937
	1500 об/мин	1088
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	985
Можно ли без каких либо переделок статор асинхронного двигателя использовать в качестве статора синхронного двигателя?	Можно	1136
	Нельзя	823
Каково назначение дополнительной обмотки статора синхронного двигателя серии СО?	Для запуска синхронного двигателя	840
	Для питания обмотки ротора	1324
	Для питания обмотки ротора при запуске синхронного двигателя	1030

Как изменится скорость вращения двигателя серии СО, если момент нагрузки на валу увеличился от M_H до $1,3 M_H$?	Скорость не изменится	1131
	Скорость немного уменьшится	871
	Двигатель остановится	1358
Укажите величину выпрямленного напряжения генераторов переменного тока, устанавливаемых на тракторах и автомобилях	120 В или 230 В	8
	12 В или 24 В	5

§ 5. Синхронный компенсатор

Изменение тока возбуждения синхронного двигателя вызывает изменение общего тока статора. При перевозбуждении синхронный двигатель работает с опережающим током по отношению к току сети, улучшая $\cos \varphi$ сети, а при недовозбуждении — с отстающим током, т. е. будет ухудшать $\cos \varphi$ сети. Часто для улучшения коэффициента мощности сети синхронные двигатели, присоединенные к ней, перевозбуждают. Кривые изменения тока двигателя в зависимости от тока возбуждения имеют такой же характер, как и приведенные на рисунке 170.

Синхронные машины облегченной конструкции, которые работают без нагрузки, с большим перевозбуждением, специально предназначенные только для улучшения коэффициента мощности сети, называют *синхронными компенсаторами*. Их используют также для регулирования напряжения в линиях электропередач.

Рассмотрим векторную диаграмму синхронного компенсатора (рис. 186). Будем считать, что напряжение U_c сети уравновешивается противо-э. д. с. $E_{дв}$ двигателя, которая индуцируется результирующим магнитным потоком $\Phi = \Phi_0 + \Phi_n$. Пренебрегая падением напряжения в обмотках, можно написать, что

$$U_c = E = 4,44 k_{об} f \omega \Phi = \text{const.}$$

Синхронный компенсатор работает без нагрузки, поэтому потребляемая им из сети активная мощность незначительна и расходуется на покрытие потерь в компенсаторе. Примем поэтому силу активного тока компенсатора постоянной: $I_a = \text{const.}$

Условимся, что вектор тока якоря I_a в ином масштабе представляет создаваемый им магнитный поток.

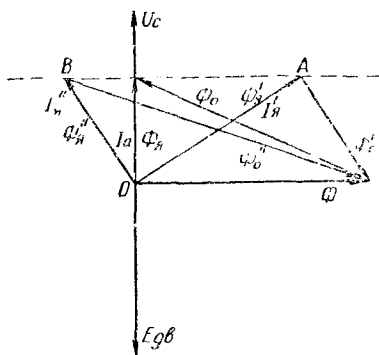


Рис. 186. Векторная диаграмма синхронного компенсатора.

Для построения векторной диаграммы откладываем вертикально вектор напряжения U_c сети, а в противофазе — вектор э. д. с. $E_{дв}$ компенсатора. Вектор результирующего магнитного потока опережает вектор э. д. с. на 90° . В фазе с вектором напряжения отложим вектор активного тока I_a , который создает магнитный поток Φ_a . Вектор магнитного потока полюсов Φ_0 получим, соединив концы векторов Φ и Φ_a . Так как величина активного тока якоря постоянна, то через конец вектора тока I_a проводим пунктирную линию, параллельную оси абсцисс, на которой будет всегда находиться конец вектора общего тока статора при изменении возбуждения. Уменьшим возбуждение компенсатора, сделав магнитный поток полюсов равным по величине вектору Φ_0' . Своё начало вектор Φ_0' берет на пунктирной линии, проведенной на высоте I_a .

Так как $\Phi = \text{const}$, а $\Phi = \Phi_0 + \Phi_a$, то второй вектор Φ_a' находим, соединив точки O и A . Получим вектор магнитного потока Φ_a' якоря и вектор тока I_a' . Как видно из этой диаграммы, ток I_a' якоря по отношению к сети будет отстающим. Увеличим возбуждение компенсатора, сделав магнитный поток полюсов равным Φ_0'' . Соединив точки O и B , получим вектор Φ_a'' и вектор тока I_a'' якоря. Как видно из этой диаграммы, ток I_a'' будет опережающим относительно напряжения сети.

Мощность синхронного компенсатора выбирают по величине реактивной мощности, которую он должен компенсировать. Устанавливают синхронные компенсаторы на шинах подстанции (обычно со стороны высокого напряжения). В этом случае они разгружают линию и генератор от реактивных токов.

Если установить синхронный компенсатор на шинах подстанции со стороны низкого напряжения, то он разгружает от реактивных токов и понижающий трансформатор.

Методику выбора синхронного компенсатора рассмотрим на примере.

Пример 1. Подсчитать мощность синхронного компенсатора для улучшения коэффициента мощности от 0,6 до 0,9, если установка потребляет мощность $P_{ср} = 1800$ кВт при напряжении 10 кВ.

Решение. Реактивную мощность, необходимую для компенсации коэффициента мощности, определяют по следующей формуле:

$$Q = P_{ср} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \text{ кВАр}, \quad (127)$$

где $P_{ср}$ — средняя активная мощность, потребляемая установкой за сутки, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_1$ — соответствует углу φ_1 до компенсации;

$\operatorname{tg} \varphi_2$ — соответствует углу φ_2 после компенсации.

Для $\cos \varphi_1 = 0,6$ $\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,327$, а для $\cos \varphi_2 = 0,9$ $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,480$. Тогда

$$Q = 1800 (1,327 - 0,480) = 1520 \text{ кВАр}.$$

Общий ток, который был до компенсации,

$$I_{лн} = \frac{P}{3 U_{лн} \cos \varphi_1} = \frac{1800 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,6} \approx 170 \text{ А}.$$

Общий ток после компенсации

$$I_{\text{л2}} = \frac{P}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi_2} = \frac{1800 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,9} \approx 115 \text{ A.}$$

Уменьшение тока

$$I_{\text{л1}} - I_{\text{л2}} = 170 - 115 = 55 \text{ A.}$$

Улучшать коэффициент мощности выгодно примерно до 0,9. Дальнейшее увеличение коэффициента мощности экономически нецелесообразно, так как требует установки компенсаторов очень большой мощности при незначительном уменьшении общего тока.

Допустим, что при тех же условиях (пример 1) необходимо довести коэффициент мощности до 1. Тогда нужно поставить дополнительно компенсатор мощностью

$$Q = 1800 (0,480 - 0) = 870 \text{ кВАр.}$$

Общий ток станет равным

$$I_{\text{л3}} = \frac{1800 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1} \approx 104 \text{ A.}$$

Уменьшение тока

$$I_{\text{л2}} - I_{\text{л3}} = 115 - 104 = 11 \text{ A.}$$

При улучшении коэффициента мощности от 0,6 до 0,9 на каждый ампер уменьшения тока приходилось

$$\frac{1520}{55} \approx 27,6 \text{ кВАр/А,}$$

а при улучшении коэффициента мощности от 0,9 до 1

$$\frac{870}{41} \approx 79 \text{ кВАр/А,}$$

т. е. почти в 3 раза больше.

Векторная диаграмма, показывающая действие синхронного компенсатора, приведена на рисунке 187. Здесь вертикально отложен вектор напряжения U_c сети, а под углом φ_1 ток I_1 . Вследствие того что компенсатор дает опережающий ток I_c , который вычитается из реактивного тока I_p , общий ток снижается до величины I_2 , а угол φ_2 уменьшается, что приводит к увеличению $\cos \varphi_2$.

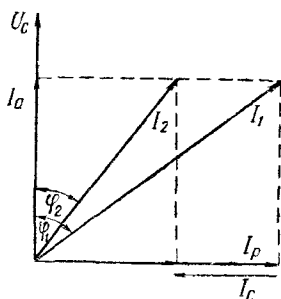


Рис. 187. Улучшение коэффициента мощности при помощи синхронного компенсатора.

Синхронный компенсатор

Каково назначение синхронного компенсатора?	Предназначен для увеличения коэф- фициента мощности сети	1228
	Предназначен для увеличения к. п. д. энергосистемы	986
	Предназначен для уменьшения брос- ков тока при пуске синхронных двигателей	824
Какая машина используется в качестве синхронного компенса- тора?	Перевозбужденный синхронный гене- ратор	841
	Перевозбужденный синхронный дви- гатель	1325
	Недовозбужденный синхронный дви- гатель	1359
Ток явора синхронного компен- сатора увеличился. Как изме- нился результирующий магнит- ный поток машины?	Пропорционально увеличился	890
	Уменьшился	1229
	Практически не изменился	842
Что надо сделать, чтобы син- хронный двигатель потреблял из сети реактивный ток, опережаю- щий по фазе напряжение сети?	Обеспечить работу двигателя в ре- жиме холостого хода	1326
	Установить ток возбуждения, превы- шающий номинальный ток	891
	Выполнить оба названных выше условия	1327
Какова реактивная мощность синхронного компенсатора, вклю- ченного в сеть мощностью 1000 кВт для увеличения коэффициента мощности от 1/2 до 1?	1000 кВАр	892
	500 кВАр	893

§ 6. Потери и к. п. д. синхронной машины

Как известно, преобразование энергии одного вида в энергию другого сопровождается потерями. В синхронных машинах различают а) механические потери — на трение в подшипниках, ротора о воздух, щеток о контактные кольца, вентиляционные потери; б) магнитные потери в стали статора, состоящие из потерь на гистерезис и вихревые токи; в) потери на возбуждение, куда входит мощность возбуждения $P_v = I_v U_v$, и потери в самом возбудителе; г) электри-

ческие потери в обмотках (или потери в меди P_m) статора:

$$P_m = P_{ад} - m I_1^2 r_{я75} \text{ Вт,}$$

где m — число фаз;

I_1 — фазный ток обмотки статора, А;

$r_{я75}$ — активное сопротивление одной фазы обмотки статора при температуре 75°С, Ом;

д) добавочные потери, которые состояются из потерь на вихревые токи в проводах обмотки статора, потерь в стали ротора, вызванных пульсацией магнитного потока вследствие зубчатости сердечника статора и др. Согласно ГОСТу 14828-66, добавочные потери принимают равными 0,5% номинальной мощности машины при мощности ее до 100 кВА.

Энергетическая диаграмма синхронного двигателя представлена на рисунке 188, а, а синхронного генератора — на рисунке 188, б.

Коэффициент полезного действия синхронной машины можно определить по формуле (36), но обычно его вычисляют косвенным методом по следующим формулам:

для генератора

$$\eta_r = \frac{P_2}{P_2 + \sum P}, \quad (128)$$

где P_2 — полезная мощность генератора ($P_2 = \sqrt{3} I_L U_L \cos \varphi$);
 $\sum P$ — сумма всех потерь в машине

$$(\sum P = P_{мех} + P_{ст} + P_m + P_{в} + P_{ад} + P_d); \quad (129)$$

для двигателя

$$\eta_{дв} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1}, \quad (130)$$

где P_1 — подведенная к двигателю мощность ($P_1 = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$).

К. п. д. синхронных машин обычно составляет 85—99%. Наиболее высоких значений к. п. д. достигает у машин очень большой мощности. При снижении коэффициента мощности к. п. д. уменьшается.

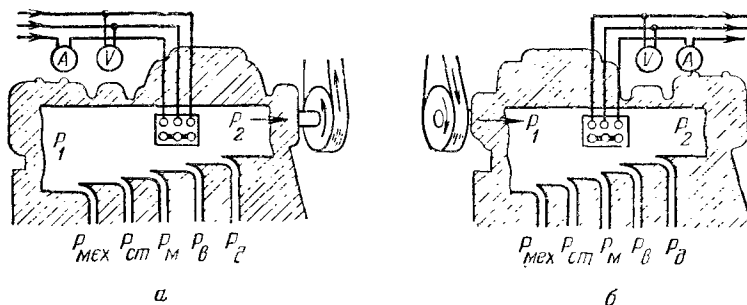


Рис. 188. Энергетические диаграммы синхронной машины:

а — двигателя; б — генератора.

Пример 2. Определить при номинальной нагрузке к. п. д. синхронного генератора, имеющего такие данные: $S_H = 500$ кВА, $U_H = 6,3$ кВ, $\cos \varphi = 0,9$, $I_B = 90$ А, $U_B = 20$ В, $\eta_{\text{возбужд}} = 90\%$, $P_{\text{ст}} = 5,2$ кВт, добавочные потери $P_d = 0,5\%$ P_H , $P_{\text{мех}} = 1\%$ P_H , $r_{\text{я75}} = 1,60$ Ом.

Решение. Номинальная мощность генератора

$$P_2 = S_H \cos \varphi = 500 \cdot 0,9 = 450 \text{ кВт.}$$

Ток фазы статора

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi} = \frac{450}{1,73 \cdot 6,3 \cdot 0,9} = 45,9 \text{ А.}$$

Электрические потери в обмотке статора

$$P_{\text{эл}} = 3I^2 r_{\text{я75}} = 3 \cdot 45,9^2 \cdot 1,6 = 10,11 \text{ кВт.}$$

Добавочные потери

$$P_d = 0,005 \cdot 450 = 2,25 \text{ кВт.}$$

Механические потери

$$P_{\text{мех}} = 0,01 \cdot 450 = 4,5 \text{ кВт.}$$

Потери возбуждения

$$P_B = \frac{U_B I_B}{\eta_{\text{возбужд}}} = \frac{20 \cdot 90}{0,9} = 2 \text{ кВт.}$$

К. п. д. генератора

$$\eta_g = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}} + P_B + P_{\text{эл}} + P_d} = \frac{450}{450 + 4,5 + 5,2 + 2 + 10,11 + 2,25} = 0,95.$$

КАРТОЧКА № 96 (141)

Потери в к. п. д. синхронной машины

Какие из указанных потерь относятся к постоянным?	Механические потери	1376
	Потери на гистерезис	1505
	Потери на вихревые токи	1779
	Потери на нагрев обмотки статора	1630
Мощность, потребляемая двигателем, измеряется ваттметром. В каком случае ваттметр покажет постоянные потери в двигателе?	Когда двигатель работает в режиме холостого хода	1643
	Когда возбуждение двигателя отключено	1392
	Когда ротор двигателя неподвижен	1763

Фазный ток, потребляемый синхронным двигателем, равен 10 А. Определите тепловые потери в обмотке статора, если активное сопротивление фазы обмотки равно 0,5 Ом	150 Вт	1416
	250 Вт	1794
Определите добавочные потери синхронного двигателя мощностью 100 кВт	0,5 кВт	1521
	5 кВт	1667
Полезная мощность на валу синхронного двигателя 4,5 кВт. Номинальная мощность двигателя 10 кВт. При холостом ходе двигатель потребляет 250 Вт. Потери на нагрев обмотки статора составляют 200 Вт. Определите к. п. д. двигателя	0,7	1545
	0,8	1819
	0,9	1431

§ 7. Реактивный синхронный двигатель

Статор трехфазного реактивного синхронного двигателя выполнен аналогично статору асинхронного двигателя, а ротор его имеет явно выраженные полюса без обмотки возбуждения (рис. 189, а).

При включении обмотки статора в сеть возникает вращающееся магнитное поле, которое за счет притяжения явно выраженных полюсов ротора создает силы, стремящиеся повернуть ротор в положение, при котором магнитный поток статора будет иметь на своем пути минимальное магнитное сопротивление. Вследствие этого ротор двигателя будет вращаться синхронно с вращающимся магнитным

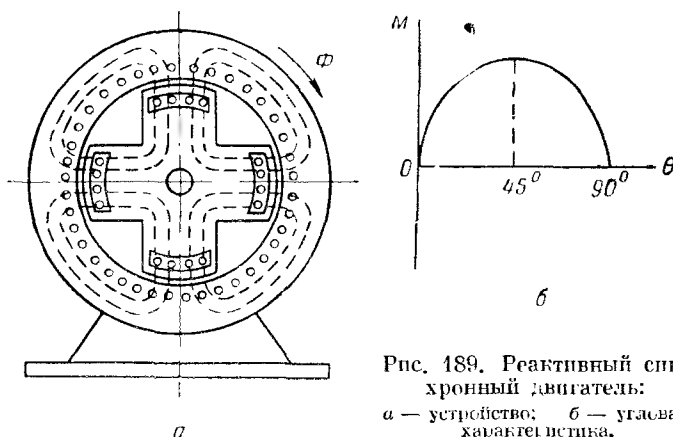


Рис. 189. Реактивный синхронный двигатель:

а — устройство; б — угловая характеристика.

полем статора под воздействием реактивного момента. Максимальный вращающий момент достигается при угле Θ , равном 45° (рис. 189, б).

Эти двигатели пускают в ход асинхронным способом, для чего в наконечники полюсов ротора закладывается короткозамкнутая пусковая клетка или (если двигатель пускают в ход без нагрузки) используется взаимодействие вихревых токов, наведенных в массивных частях ротора, с вращающимся магнитным полем статора.

К недостаткам реактивных синхронных двигателей относят их большие размеры, низкие к. п. д. и коэффициент мощности, малую перегрузочную способность.

Применяют эти двигатели в автоматике, сигнализации и синхронной связи, где требуются постоянные скорости вращения. Изготавливают реактивные двигатели на небольшие мощности (десятки ватт).

В схемах автоматики часто используются однофазные реактивные синхронные двигатели, обмотка статора которых выполнена такой же, как однофазных асинхронных двигателей с конденсатором в цепи пусковой обмотки.

КАРТОЧКА № 97 (197)

Реактивный синхронный двигатель

Чем отличается реактивный синхронный двигатель от обычного синхронного двигателя?	Устройством статора	1691
	Отсутствием обмотки возбуждения	1558
	Отсутствием пусковой обмотки	1843
При каком угле достигается максимальный вращающий момент а) в обычном синхронном двигателе; б) в реактивном синхронном двигателе?	а) 45° ; б) 45°	1583
	а) 90° ; б) 45°	1713
	а) 45° ; б) 90°	1455
Будет ли работать реактивный синхронный двигатель, если ротор изготовить а) из магнитомягкого материала; б) из магнитотвердого материала?	а) будет; б) будет	1867
	а) будет; б) не будет	1472
	а) не будет; б) не будет	1882
При равной мощности у какого синхронного двигателя больше а) размеры и масса; б) коэффициент полезного действия?	а) у обычного; б) у реактивного	1597
	а) у реактивного; б) у обычного	1737
Будет ли реактивный синхронный двигатель работать при питании от сети однофазного тока?	Будет	1493
	Не будет	1894
	Будет, если его ротор предварительно раскрутить	1617

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ



Глава XXIII

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО АСИНХРОННЫХ МАШИН

§ 1. Принцип действия асинхронного двигателя

Асинхронный трехфазный двигатель самый распространенный в промышленности и сельском хозяйстве.

Асинхронный двигатель изобретен талантливым русским ученым М. О. Доливо-Добровольским в 1889 г. Простота устройства, относительно малая стоимость, высокий к. п. д., большая надежность в работе способствовали его быстрому внедрению во все отрасли хозяйства.

Рассмотрим принцип действия асинхронного двигателя.

Представим себе вращающееся магнитное поле в виде кольца с двумя постоянными магнитами (рис. 190).

В середине кольца помещена обмотка ротора в виде короткозамкнутой белличьей клетки.

Магнитное поле статора, вращаясь в пространстве со скоростью $n_1 = \frac{60f_1}{p}$, индуцирует в проводах обмотки ротора э. д. с., а так как обмотка ротора замкнута, то в ней возникают токи, направление которых определяют по правилу правой руки. При этом следует иметь в виду, что если магнитное поле вращается по часовой стрелке, то относительное направление вращения проводника нужно принимать противоположным направлению движения часовой стрелки.

Взаимодействие магнитного поля статора и токов в роторе создает в проводниках обмотки ротора электромагнитные силы F , направление которых определяется по правилу левой руки. Эти силы вращают ротор в направлении вращения поля статора.

Поле статора вращается со скоростью n_1 , которую называют синхронной, а ротор вращается с меньшей скоростью n_2 , которую называют асинхронной. Если бы ротор вращался с такой же скоростью, как и поле статора, то в проводах обмотки ротора, не пересекающих силовых линий поля, не индуцировалась бы э. д. с., не возникали

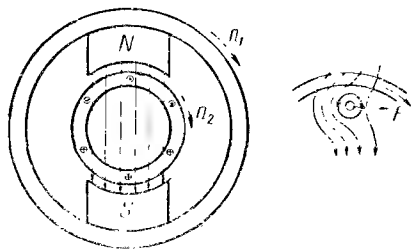


Рис. 190. Принцип действия асинхронного двигателя.

бы токи и электромагнитные силы F , в результате чего вращающий момент на роторе был бы равен нулю.

Относительное отставание ротора от поля статора называют *скольжением* и обозначают символом s . Скольжение — основная переменная величина асинхронной машины, от которой во многом зависит режим ее работы. Скольжение может быть определено из уравнения

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (131)$$

или в процентах

$$s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100. \quad (132)$$

Скольжение асинхронных двигателей обычно находится в пределах 1,5—7%.

При неподвижном роторе скольжение достигает максимального значения ($s = 1$), так как $n_2 = 0$. В начальный момент пуска, когда $n_2 = 0$, $s = 1$.

Из формулы скольжения можно вывести формулу скорости ротора:

$$n_2 = n_1 (1 - s). \quad (133)$$

Значение скорости ротора n_2 при номинальных нагрузке, напряжении и частоте указывают на заводском щитке двигателя.

Пример. Определить скорость вращения ротора четырехполюсного асинхронного электродвигателя, работающего со скольжением 3%.

Решение. Скорость вращения поля статора

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин.}$$

Скорость вращения ротора $n_2 = n_1 (1 - s) = 1500 (1 - 0,03) = 1455 \text{ об/мин.}$

КАРТОЧКА № 98 (188)

Принцип действия асинхронного двигателя

Магнитное поле вращается против часовой стрелки с угловой скоростью ω . Куда направлены: а) ток в верхнем проводнике рамки; б) сила, действующая на верхний проводник рамки?



а) от нас; б) вправо	1749
а) к нам; б) влево	1377
а) от нас; б) влево	1506

Определите скольжение, если скорость вращения поля 3000 об/мин, а скорость вращения ротора 2940 об/мин	2%	1432
	5%	1692
Три катушки обмотки статора питаются трехфазным током частотой 500 Гц. Скорость вращения ротора 28 500 об/мин. Определите скольжение	2%	1559
	5%	1844
	10%	1584
Определите скорость вращения ротора, если $s = 0,05\%$; $p = 1$; $f = 50$ Гц	2950 об/мин	1714
	2900 об/мин	1456
	2850 об/мин	1868
Как изменится скольжение, если увеличить момент механической нагрузки на валу двигателя?	Увеличится	1738
	Не изменится	1494
	Уменьшится	1895

§ 2. Устройство асинхронных двигателей

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижной — статора и вращающейся — ротора (рис. 191).

Статор представляет собой стальной сердечник в виде пустотелого цилиндра, набираемого из отдельных листов электротехнической стали, изолированных между собой лаком. Внутри цилиндра выштампованы пазы, куда укладывают обмотку статора. По устройству статор асинхронного двигателя почти ничем не отличается от

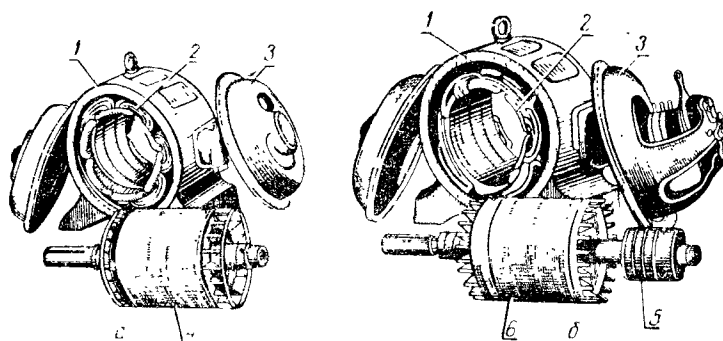


Рис. 191. Асинхронные двигатели:

a — с короткозамкнутым ротором; *б* — с фазным ротором; 1 — корпус двигателя; 2 — обмотка статора; 3 — подшипниковый щит; 4 — короткозамкнутый ротор; 5 — контактные кольца; 6 — фазный ротор.

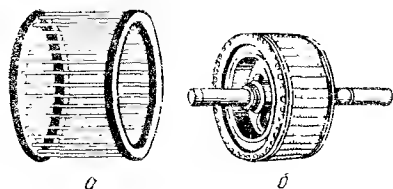


Рис. 192. Короткозамкнутый ротор:
а — белочья клетка; б — в сборе.

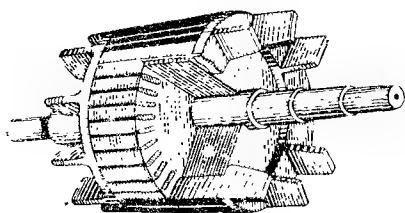


Рис. 193. Короткозамкнутый ротор
с алюминиевой литой обмоткой.

В пазы ротора расплавленным алюминием под давлением. Белочью клетку от стали ротора не изолируют, так как проводимость проводников обмотки в десятки раз больше проводимости стали. При отливке белочьей клетки из алюминия одновременно отливают и боковые кольца вместе с вентиляционными крыльями (рис. 193).

В пазы фазного ротора укладывают трехфазную обмотку, выполняемую по типу обмотки статора. Разрез двигателя с фазным ротором представлен на рисунке 194.

Как правило, фазную обмотку ротора соединяют в звезду. При этом концы обмотки сводят в одну точку, а начала выводят к контактным кольцам, на которые устанавливают щетки, соединенные с пусковым реостатом.

Схемы двигателей приведены на рисунке 195.

Выводы обмоток асинхронных двигателей обозначают следующим образом:

	начала	концы
1-я фаза	C ₁	C ₄
2-я фаза	C ₂	C ₅
3-я фаза	C ₃	C ₆

Согласно ГОСТу 183—66, выводы обмоток обозначаются также следующими цветами:

	начала	концы
1-я фаза	желтый	желтый с черным
2-я фаза	зеленый	зеленый с черным
3-я фаза	красный	красный с черным

статора синхронной машины. Обмотки статоров асинхронной и синхронной машин рассчитывают и выполняют аналогично друг другу.

Внутри статора помещен ротор, представляющий собой стальной цилиндр, который набирают из отдельных листов электротехнической стали, изолированных между собой. Концы вала ротора через подшипники качения опираются на подшипниковые щиты.

Различают роторы короткозамкнутого (рис. 191, а) и фазного (рис. 191, б) типов.

В пазы короткозамкнутого ротора укладывают обмотку в виде белочьей клетки, выполняемую из медных стержней, которую с торцовых сторон замыкают кольцами (рис. 192). В двигателях небольшой мощности (до 100 кВт) белочью клетку изготовляют, зали-

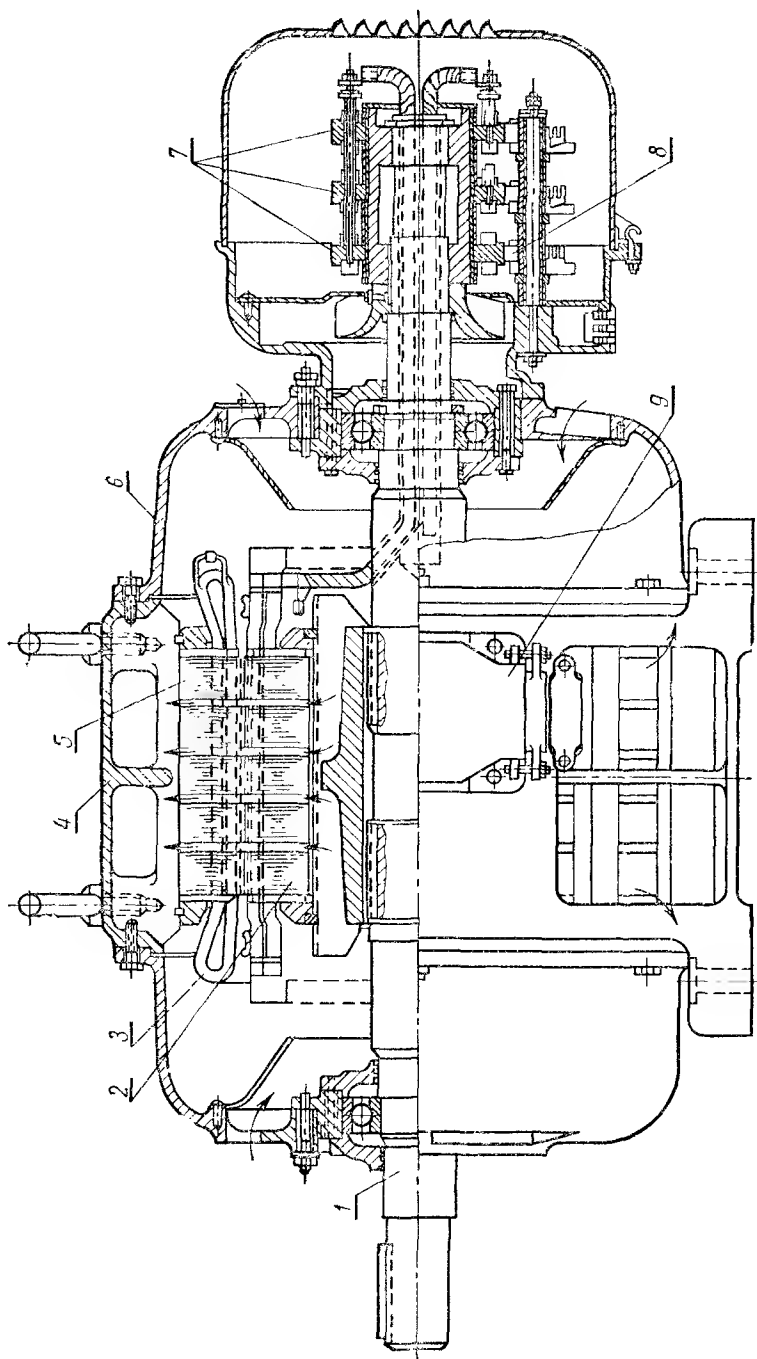


Рис. 194. Продольный разрез асинхронного двигателя с фазным ротором:

1 — вал; 2 — сердечник ротора; 3 — обмотка статора; 4 — корпус статора; 5 — сердечник статора; 6 — подшинниковый щит; 7 — кон-
тактные кольца; 8 — щетки; 9 — коробка выводов.

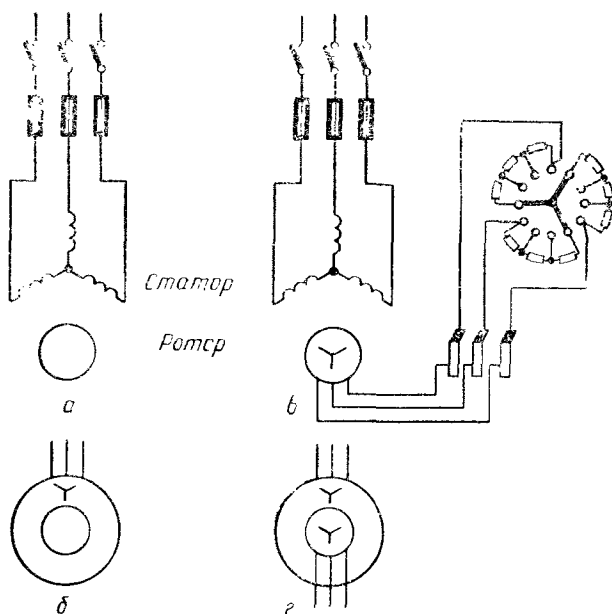


Рис. 195. Схемы трехфазных асинхронных двигателей: а - с короткозамкнутым ротором (развернутая схема), б - упрощенное многослинейное обозначение; в - с фазным ротором (развернутая схема), г - упрощенное многослинейное обозначение.

Обмотки двигателя могут быть соединены в звезду или в треугольник. Для удобства соединения обмоток в треугольник выводы обмоток присоединены к доске зажимов по схеме, приведенной на рисунке 196, а. На том же рисунке показаны способы и схемы соединения обмоток. Если на паспорте двигателя написано 220/380 В и стоит обозначение Δ/Y , то это значит, что при линейном напряжении в сети 220 В обмотки нужно соединить в треугольник, а при линейном напряжении 380 В — в звезду. Выводы обмоток ротора обозначают буквами P_1, P_2, P_3 .

Начиная с 1961 г. в нашей стране началось внедрение новой единой серии асинхронных двигателей А2 и АО2 мощностью до 100 кВт.

Новая единая серия характеризуется повышенной эксплуатационной надежностью в связи с тем, что при изготовлении двигателей этой серии применены высокопрочные изоляционные материалы и лаки.

Двигатели новой серии 1—5 габаритов выпускаются только в закрытом обдуваемом исполнении, а двигатели 6—9 габаритов — как в закрытом обдуваемом, так и в защищенном исполнениях.

Двигатели новой серии по сравнению с двигателями предыдущей имеют повышенные значения к. п. д. и $\cos \phi$, меньшие размеры и меньшую массу на единицу мощности.

Шкала мощностей двигателей новой серии состоит из 19 ступеней: 0,4; 0,6; 0,8; 1,1; 1,5; 2,2; 3; 4; 5,5; 7,5; 10; 13; 17; 22; 30; 40; 55; 75; 100 кВт.

На базе основного исполнения двигателей общего применения с короткозамкнутым ротором изготавливаются их модификации. Основные из них следующие: с повышенным (8—13%) скольжением (АОС2, АОЛС2), с повышенным (1,7—1,8 Мн) пусковым моментом (АОП2), многоскоростные (АО2), для текстильной промышленности (АОТ2), с фазным ротором (АК2, АОБ2) и др.

Условные обозначения асинхронных электродвигателей основного исполнения расшифровываются следующим образом: А — асинхронный, О — обдуваемый, 2 — индекс, характеризующий новую серию. Число после первого дефиса обозначает типоразмер: первая цифра — порядковый номер наружного диаметра сердечника статора (габарит), вторая — порядковый номер длины двигателя; после второго дефиса — число полюсов.

Например, марка АОС2-31-2 расшифровывается так: асинхронный двигатель, закрытый, обдуваемый, новой единой серии, в чугунной оболочке, с повышенным скольжением, третьего габарита, первой длины, двухполюсный. В случае выполнения двигателей с алюминиевой оболочкой в обозначение включается буква Л.

Двигатели новой серии и все их модификации, кроме многоскоростных, изготавливаются на номинальное напряжение 220/380 В, а двигатели общего применения А2 и АО2 мощностью выше 3 кВт также и на напряжение 380 В при соединении обмоток треугольником. Многоскоростные двигатели рассчитаны на напряжение 380 В.

Асинхронные двигатели единой серии выпускаются во взрывозащищенном исполнении и имеют обозначение ВАО (взрывозащищенный, асинхронный, обдуваемый). Кроме взрывозащищенных двигате-

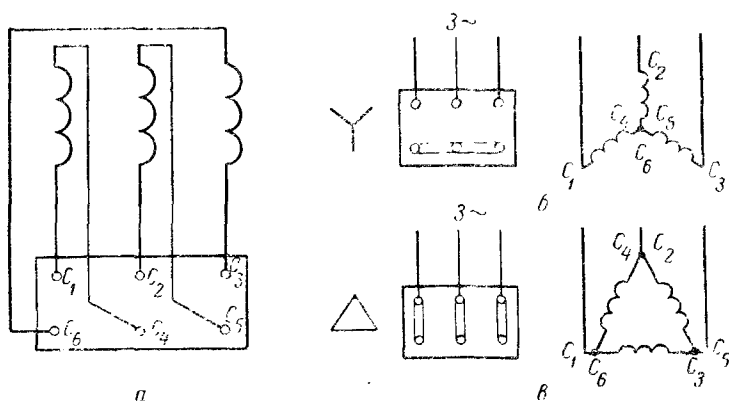


Рис. 196. Схема соединения обмоток статора асинхронных двигателей:

а — присоединение выводов к доске зажимов; б — соединение обмоток в звезду; в — соединение обмоток в треугольник.

лей единой серии, наши заводы продолжают поставлять взрывозащищенные двигатели серий КОМ, КО, К и МА.

Выпускаются специализированные исполнения асинхронных электродвигателей новых серий. Для этих двигателей в конце полного обозначения добавляются буквы, дающие понятие об исполнении: Х — химостойкое; ВМС — влаго- и морозостойкое; Т — тропическое; Ш — малощумное.

Химо-, влаго- и морозостойкость достигаются применением специальной изоляции обмоток, защитных покрытий металлических частей, уплотнений и специальной смазки подшипников. Номинальные мощности химостойких двигателей на одну ступень ниже, чем соответствующих по типоразмеру двигателей общего применения, вследствие того, что толщина химостойкой изоляции больше обычной.

Химостойкие, влаго- и морозостойкие двигатели широко применяются для электрификации сельского хозяйства.

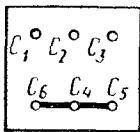
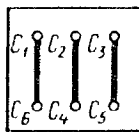
Недавно выпущены асинхронные короткозамкнутые двигатели сельскохозяйственной серии АО2 с индексом СХ. Эти двигатели предназначены для работы при температурах окружающей среды от -45 до $+40$ °С, относительной влажности воздуха до 98% (при $+20$ °С), в среде с химическими активными примесями (аммиака или сероводорода до $0,03$ г/м³, а углекислого газа до $14,7$ г/м³).

В 1970 г. успешно проведены испытания опытных образцов новой единой серии асинхронных электродвигателей А4, а в 1971 г. начат серийный выпуск машин нижнего отрезка серии.

КАРТОЧКА № 99 (295)

Устройство асинхронных двигателей

Почему сердечник статора и ротор набирают из тонких листов стали, изолированных лаком друг от друга?	Для уменьшения потерь на вихревые токи	1378
	Для уменьшения потерь на перемагничивание	1507
	Для уменьшения двух названных выше видов потерь	1780
Чем отличается двигатель с фазной обмоткой ротора от двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора?	Наличием контактных колец и щеток	1764
	Наличием пазов для охлаждения	1417
	Количеством катушек обмотки статора	1795
Напряжение сети 380 В. В паспорте асинхронного двигателя указано напряжение 220/380 В. Как должны быть соединены обмотки статора двигателя в рабочем режиме?	Треугольником	1546
	Звездой	1820

Как соединены обмотки двигателя?	а) звездой; б) треугольником	1560
 а	а) треугольником; б) звездой	1845
 б	Треугольником	1585
	Звездой	1715
Укажите маркировку асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой и вентилятором, укрепленным на валу спаруки двигателя	А	1457
	А2	1869
	АО2	1473

Глава XXIV

РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

§ 1. Асинхронный двигатель при неподвижном роторе

Электромагнитные процессы в асинхронном двигателе аналогичны процессам, происходящим в трансформаторе. Обмотку статора асинхронного двигателя можно рассматривать как первичную обмотку трансформатора, а обмотку ротора — как вторичную. /

Если к обмотке статора двигателя подвести напряжение сети U_1 , а обмотку ротора разомкнуть, что можно сделать в двигателе с фазным ротором, то вращающееся магнитное поле статора, пересекая неподвижные обмотки статора и ротора, будет индуцировать в них соответственно э. д. с. E_1 и E_2 . Величины этих э. д. с. определяют по формулам

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 k_{об1} \Phi_m; \quad (134)$$

$$E_2 = 4,44 f_1 w_2 k_{об2} \Phi_m, \quad (135)$$

где E_1, E_2 — э. д. с. обмоток статора и ротора, В;

$k_{об1}$ и $k_{об2}$ — обмоточные коэффициенты обмоток статора и ротора;

w_1 и w_2 — числа витков обмоток статора и ротора;

Φ_m — максимальное значение основного магнитного потока, Вб;

f_1 — частота тока сети, Гц.

Режим работы асинхронного двигателя, когда к обмотке статора подводят номинальное напряжение при номинальной частоте, а обмотка фазного ротора разомкнута, называют режимом холостого хода. Этот режим аналогичен режиму холостого хода трансформатора.

тора, но ток холостого хода асинхронного двигателя больше, чем ток трансформатора из-за воздушного зазора между сталью статора и ротора, что увеличивает магнитные потоки рассеяния. Если ток холостого хода трансформатора составляет 2—10% номинального, то в асинхронном двигателе его величина может достигнуть 20—80% номинального.

Коэффициентом трансформации асинхронного двигателя называют отношение э. д. с. статора E_1 к э. д. с. ротора E_2 :

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{0\phi 1} w_1}{k_{0\phi 2} w_2}. \quad (136)$$

Тогда формулы приведения величин вторичной обмотки к величинам первичной обмотки будут иметь вид, аналогичный соответствующим формулам, выведенным для трансформатора (56), (57), (58), (59), (60).

Если обмотку ротора асинхронного двигателя замкнуть накоротко, а сам ротор затормозить и к обмотке статора подвести пониженное напряжение такой величины, чтобы токи короткого замыкания были равны номинальным, то, включив соответствующие приборы в схему, можно провести опыт короткого замыкания двигателя, аналогичный опыту короткого замыкания трансформатора.

Напряжение короткого замыкания у асинхронных двигателей больше, чем у трансформаторов, вследствие больших магнитных потоков рассеяния.

Если обмотка ротора замкнута накоротко, но сам он не заторможен, а к статору подведено номинальное напряжение, то в начальный момент пуска ток короткого замыкания будет в 4—7 раз больше номинального. По мере разгона двигателя пусковые токи уменьшаются. Таким образом, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в начальный момент пуска находится в режиме короткого замыкания.

Считают, что в асинхронном двигателе, как и в трансформаторе, мощность при холостом ходе идет на покрытие потерь в стали, а при коротком замыкании — на покрытие потерь в меди.

КАРТОЧКА № 100 (246)

Асинхронный двигатель при неподвижном роторе

Какой магнитный поток создается первичной обмоткой трансформатора?	Изменяющийся по направлению, постоянный по величине	1896
	Изменяющийся по величине и направлению	1618
	Изменяющийся по величине, но всегда направленный по оси магнитного провода	1750

Какой магнитный поток создается обмоткой статора асинхронного двигателя?	Изменяющийся по направлению, по стоянный по величине	1379
	Изменяющийся по величине и направлению	1508
	Изменяющийся по величине, постоянный по направлению	1781
При неподвижном роторе замкнуты э. д. с. обмотки статора 120 В и э. д. с. обмотки ротора 50 В. Определите коэффициент трансформации асинхронного двигателя	5	1631
	0,2	1644
	Задача неопределенна, так как неизвестно число витков обмоток асинхронного двигателя	1393
	Задача неопределенна, так как неизвестны обмоточные коэффициенты статора и ротора	1765
Определите приведенную э. д. с. и подвижного ротора асинхронного двигателя, рассмотренного выше	100 В	1418
	20 В	1796
Полное сопротивление ротора асинхронного двигателя, рассмотренного выше, равно 2 Ом. Определите приведенное сопротивление ротора	10 Ом	1522
	50 Ом	1668

§ 2. Асинхронный двигатель при вращающемся роторе

Если к статору ненагруженного двигателя подвести номинальное напряжение, то его ротор будет вращаться вхолостую.

Ротор вращается в сторону вращения магнитного поля статора со скоростью $n_2 < n_1$. Поэтому скорость вращения магнитного поля статора относительно ротора равна разности этих скоростей:

$$n = n_1 - n_2.$$

Магнитный поток Φ_1 статора, обгоняя ротор со скоростью $n = n_1 - n_2$, индуцирует в роторе э. д. с. и токи частотой f_2 , которую называют частотой скольжения.

Частота скольжения

$$f_2 = \frac{1}{60} n = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}.$$

Умножим числитель и знаменатель дроби на n_1 :

$$f_2 = \frac{pn_1(n_1 - n_2)}{60n_1} = sf_1 \text{ Гц.} \quad (137)$$

Таким образом, частота э. д. с. и тока, индуцируемого в роторе вращающимся магнитным полем, равна частоте сети, умноженной на скольжение.

Пример 1. Определить частоту тока в роторе асинхронного двигателя, если $s = 4\%$, а $f_1 = 50$ Гц.

Решение. Частота тока в роторе

$$f_2 = sf_1 = 0,04 \cdot 50 = 2 \text{ Гц.}$$

В связи с изменением частоты тока в роторе изменяются и все зависящие от частоты величины: э. д. с., индуктивное сопротивление, ток.

Э. д. с. во вращающемся роторе

$$E_{2s} = 4,44k_{062}f_2w_2\Phi_M.$$

Подставляем в эту формулу значение $f_2 = sf_1$, найдем, что

$$E_{2s} = 4,44k_{062}w_2\Phi_M f_1 s.$$

Поскольку э. д. с. неподвижного ротора

$$E_2 = 4,44k_{062}w_2f_1\Phi_M,$$

то

$$E_{2s} = sE_2, \quad (138)$$

то есть э. д. с. E_{2s} , индуцируемая во вращающемся роторе, равна э. д. с. E_2 неподвижного ротора, умноженной на скольжение s .

Индуктивное сопротивление вращающегося ротора

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 s L_2 = sx_2, \quad (139)$$

т. е. индуктивное сопротивление x_{2s} вращающегося ротора, равно индуктивному сопротивлению x_2 неподвижного ротора, умноженному на скольжение s .

Активное сопротивление r_2 ротора не зависит от частоты.

По закону Ома ток в обмотке ротора

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{r_2^2 + x_{2s}^2}} = \frac{sE_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2x_2^2}}.$$

Разделив числитель и знаменатель правой части уравнения на s , получим

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}. \quad (140)$$

Из формулы (140) видно, что сила тока во вращающемся роторе зависит от скольжения. В этой формуле режим асинхронного двигателя с вращающимся ротором приведен к эквивалентному режиму при неподвижном роторе, так как входящие в формулу величины E_2 и x_2 , зависящие от скольжения, соответствуют неподвижному ротору. При этом все происходит так, как будто ротор неподвижен

и к его зажимам подведена э. д. с. E_2 , а его сопротивления равны $\frac{r_2}{s}$ и x_2 .

В трехфазной обмотке вращающегося ротора создается магнитное поле, которое вращается относительно ротора со скоростью $n = n_1 - n_2$, соответствующей частоте тока ротора f_2 , т. е.:

$$f_2 = \frac{pn}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}.$$

Кроме того, сам ротор вращается в пространстве со скоростью n_2 . Поэтому скорость вращающегося магнитного поля ротора в пространстве равна сумме скоростей $n + n_2$.

Из формулы $f_2 = \frac{pn}{60}$ следует, что $n = \frac{60f_2}{p}$.

Подставив значение $f_2 = sf_1$, получим $n = \frac{60f_1}{p} s = sn_1$, но так как $n_2 = n_1(1 - s)$, то $n + n_2 = n_1s + n_1(1 - s) = n_1$.

Следовательно, поле ротора вращается в пространстве с такой же скоростью и в ту же сторону, что и поле статора.

Так же, как и для трансформатора, для асинхронного двигателя можно нарисовать диаграмму его м. д. с., которая подобна диаграмме м. д. с. трансформатора, с той разницей, что векторы м. д. с. в двигателе вращаются в пространстве со скоростью n_1 (рис. 197).

В соответствии с уравнением м. д. с. для трансформатора (55) результирующая м. д. с. асинхронного двигателя $I_0 w_1$ и создаваемый ею результирующий магнитный поток Φ_m будут постоянными при любой нагрузке и неизменных напряжении и частоте сети.

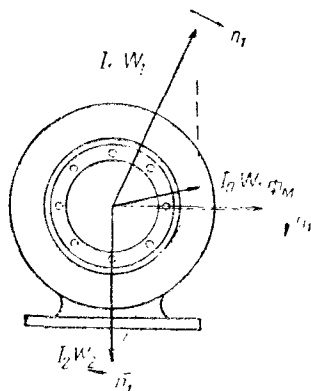


Рис. 197. Векторная диаграмма м. д. с. асинхронного двигателя.

КАРТОЧКА № 101 (258)

Асинхронный двигатель при вращающемся роторе

Три обмотки статора асинхронного двигателя включены в сеть трехфазного тока с частотой 50 Гц. Ротор вращается со скоростью 2850 об/мин. Определите частоту тока в обмотке ротора	2,5 Гц	1547	
	50 Гц	1821	
Трехфазный асинхронный двигатель подключен к сети с частотой 50 Гц. Скольжение равно 2%. Определите частоту тока в роторе	1 Гц	1433	
	0,5 Гц	1693	
	Задача неопределенна, так как неизвестно число пар полюсов двигателя		1561

Поскольку обмотка ротора при работе асинхронного двигателя замкнута накоротко, то напряжение на зажимах ротора $U'_2 = 0$, а э. д. с. E'_2 , наводимая в роторе, полностью уравновешивается обратной э. д. с. рассеяния E'_{rc2} (э. д. с. E'_{rc2} индуцируется магнитным потоком рассеяния Φ_{rc2} , создаваемым током ротора I'_2) и условной обратной э. д. с. активного сопротивления E'_{a2} , которая наводится током ротора I'_2 в активном сопротивлении обмотки ротора $\frac{r'_2}{s}$.

На рисунке 198,а изображены обратные э. д. с. во вторичной обмотке, а на рисунке 198,б — обратные э. д. с. в первичной обмотке и показано, что сумма всех э. д. с. в обмотке ротора равна нулю.

Векторная диаграмма для первичной обмотки двигателя не отличается от соответствующей векторной диаграммы трансформатора.

Так как $E'_{rc1} = I'_2 x'_2$, а $E'_{a2} = I'_2 \frac{r'_2}{s}$, то на векторной диаграмме асинхронного двигателя вектор э. д. с. обмотки ротора E'_2 изображают как сумму двух составляющих, каждая из которых уравновешивает соответствующую обратную э. д. с. Падение напряжения на активном сопротивлении $I'_2 \frac{r'_2}{s}$ уравновешивает обратную э. д. с. активного сопротивления E'_{a2} , а падение напряжения на индуктивном сопротивлении $I'_2 x'_2$ уравновешивает э. д. с. рассеяния E'_{rc2} :

$$E'_2 = I'_2 x'_2 + I'_2 \frac{r'_2}{s}. \quad (144)$$

Так же, как и в трансформаторе,

$$U_1 = -\dot{E}_1 + I_1 x_1 + I_1 r_1. \quad (142)$$

Полная векторная диаграмма асинхронного двигателя представлена на рисунке 193, в.

На этой диаграмме угол φ_1 между векторами напряжения U_1 и тока двигателя I_1 при нагрузке значительно меньше угла φ_0 между соответствующими векторами при холостом ходе, а значит, $\cos \varphi_1$ значительно выше $\cos \varphi_0$. Отсюда следует, что ненагруженные асинхронные двигатели значительно ухудшают коэффициент мощности в сети, поэтому нужно стремиться к полной загрузке асинхронных двигателей.

Пример 2. Определить э. д. с., которые индуцируются в фазе статора и ротора асинхронного короткозамкнутого двигателя при неподвижном и вращающемся роторе, если $\Phi_M = 0,011$ Вб, $s = 0,03$, $w_1 = 96$, $2p = 6$, $k_{\phi\sigma 1} = 0,91$, $f = 50$ Гц.

Примечание. Для короткозамкнутого ротора число витков фазы $w_2 = 0,5p$, коэффициент $k_{\phi\sigma 2} = 1$.

Решение. Э. д. с. фазы статора

$$E_1 = 4,44 k_{\phi\sigma 1} f_1 w_1 \Phi_M = 4,44 \cdot 0,91 \cdot 50 \cdot 96 \cdot 0,011 \approx 213 \text{ В.}$$

Число витков фазы ротора

$$w_2 = 0,5p = 0,5 \cdot 3 = 1,5.$$

Э. д. с. фазы ротора при неподвижном роторе

$$E_2 = 4,44k_{052}r_2f_1\Phi_M = 4,44 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 50 \cdot 0,011 \approx 3,65 \text{ В.}$$

Э. д. с. фазы вращающегося ротора

$$E_{2s} = E_2s = 3,65 \cdot 0,03 = 0,11 \text{ В.}$$

КАРТОЧКА № 102 (121)

Векторная диаграмма асинхронного двигателя при нагрузке

С какой скоростью вращаются векторы векторной диаграммы асинхронного двигателя?	Со скоростью вращения магнитного поля	1739
	Со скоростью вращения ротора	1495
	Со скоростью скольжения	1897
Чем отличается векторная диаграмма асинхронного двигателя, работающего в номинальном режиме, от векторной диаграммы трансформатора?	Тем, что активное сопротивление вторичной цепи уменьшено в s раз	1619
	Тем, что индуктивное сопротивление вторичной цепи уменьшено в s раз	1751
	Двумя указанными выше причинами	1380
Чем отличается векторная диаграмма асинхронного двигателя, работающего в номинальном режиме, от векторной диаграммы трансформатора?	Тем, что активное сопротивление вторичной цепи уменьшено в s раз	1509
	Тем, что напряжение на зажимах вторичной цепи равно нулю	1782
	Двумя указанными выше особенностями	1632
Как изменяется коэффициент мощности асинхронного двигателя при уменьшении механической нагрузки на его валу?	Не изменяется	6
	Уменьшается	12
Как изменяется ток в статоре асинхронного двигателя при увеличении скольжения?	Не изменяется	1766
	Увеличивается	1419
	Уменьшается	1797

Глава XXV

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

§ 1. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Процесс преобразования электрической энергии, подведенной к двигателю из сети, в механическую, снимаемую с вала машины, сопровождается потерями.

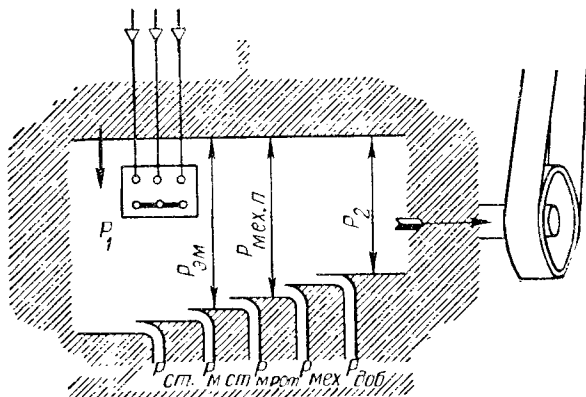


Рис. 199. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

Наглядное представление о распределении подведенной к двигателю мощности дает энергетическая диаграмма (рис. 199).

К асинхронному двигателю из сети подводится мощность

$$P_1 = 3U_{1ф} I_{ф} \cos \varphi_1 \text{ Вт.} \quad (143)$$

Часть этой мощности тратится на потери $P_{ст}$ в стали машины и на потери $P_{м.ст}$ в меди (обмотках) статора:

$$P_{м.ст} = 3I_{1ф}^2 r_1 \text{ Вт.} \quad (144)$$

Остальная мощность электромагнитным путем передается на ротор и называется электромагнитной мощностью $P_{эм}$.

Часть мощности, переданной на ротор, тратится на нагрев меди обмоток ротора:

$$P_{м.рст} = 3I_{2ф}^2 r_2 \text{ Вт.} \quad (145)$$

Остальную часть мощности называют полной механической мощностью $P_{мех.п}$.

Если из полной механической мощности вычесть механические потери $P_{мех}$ и добавочные потери $P_{доб}$, то получится полезная мощность P_2 на валу двигателя, значение которой (в киловаттах) приводят на заводском щитке двигателя.

Для того чтобы получить величину мощности P_1 , потребляемой двигателем из сети, необходимо полезную мощность P_2 разделить на к. п. д. двигателя:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}. \quad (146)$$

К. п. д. асинхронного двигателя можно определить из формулы

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + \sum P}, \quad (147)$$

где P_1 — подведенная к двигателю мощность (143).

Суммарные потери

$$\Sigma P = P_{ст} + P_{м.ст} + P_{м.рот} + P_{мех} + P_{доб}. \quad (148)$$

Значение к. п. д. асинхронных двигателей находится в пределах от 0,7 до 0,9, но может быть несколько большим, причем с возрастанием мощности двигателей к. п. д. увеличивается.

Как видно из энергетической диаграммы, разность между электромагнитной мощностью $P_{эм}$ и полной механической мощностью ротора $P_{мех.п}$ равна потерям в меди ротора:

$$P_{м.рот} = P_{эм} - P_{мех.п}.$$

Но механическая мощность ротора

$$P_{мех.рот} = M\omega_2 = M \frac{2\pi n_2}{60} \text{ Вт}, \quad (149)$$

где M — вращающий момент двигателя, Н · м;

n_2 — скорость вращения ротора, об/мин.

Электромагнитная мощность вращающегося магнитного поля

$$P_{эм} = M\omega_1 = M \frac{2\pi n_1}{60}, \quad (150)$$

где n_1 — скорость вращения магнитного поля статора, об/мин.

Но так как $n_2 = n_1 (1 - s)$, то

$$P_{м.рот} = P_{эм} - M \frac{2\pi n_1 (1 - s)}{60}.$$

Поскольку $P_{эм} = M \frac{2\pi n_1}{60}$,

то

$$P_{м.рот} = P_{эм} - P_{эм} (1 - s) = sP_{эм} \text{ Вт}, \quad (151)$$

т. е. электрические потери в роторе пропорциональны скольжению.

КАРТОЧКА № 103 (204)

Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Определите мощность, потребляемую двигателем из сети, если $U_{1ф} = 100 \text{ В}$; $I_{1ф} = 2 \text{ А}$; $\cos \varphi_1 = 0,8$; $r_1 = 4 \text{ Ом}$; $I_{2ф} = 10 \text{ А}$; $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$	600 Вт	1523
	480 Вт	1069
Найдите потери в меди статора рассмотренного выше двигателя	420 Вт	1548
	12 Вт	1322
Каковы потери в меди ротора рассмотренного выше двигателя?	30 Вт	1434
	20 Вт	1091

Вычислите электромагнитную мощность рассмотренного выше асинхронного двигателя, если потери в стали составляют 8 Вт	460 Вт	1562
	470 Вт	1847
Определите полную механическую мощность и полезную мощность на валу рассмотренного выше двигателя, если механические и добавочные потери в сумме составляют 5 Вт	$P_{\text{мех.п}} = 440 \text{ Вт}; P_2 = 430 \text{ Вт}$	1587
	$P_{\text{мех.п}} = 430 \text{ Вт}; P_2 = 425 \text{ Вт}$	1717

КАРТОЧКА № 104 (363)

Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя

Определите потребляемую двигателем мощность, если его полезная мощность 400 Вт, а к. п. д. 0,8	600 Вт	1459
	500 Вт	1871
Каков к. п. д. двигателя, если полезная мощность на его валу 350 Вт, а суммарные потери в двигателе 150 Вт?	70%	1475
	80%	1884
Укажите выражение: а) для электромагнитной мощности; б) полной механической мощности двигателя	а) $M\omega_2$; б) $M\omega_1$	1599
	а) $M\omega_1$; б) $M\omega_2$	1740
Электромагнитная мощность двигателя 500 Вт, полная механическая мощность 470 Вт. Определите тепловые потери в обмотке ротора	30 Вт	1496
	60 Вт	1898
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1620
Электромагнитная мощность двигателя 500 Вт. Полная механическая мощность 470 Вт. Найдите скольжение, при котором работает двигатель	3%	1752
	6%	1381
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1510

§ 2. Уравнения вращающего момента асинхронного двигателя

Вращающий момент можно выразить через потери в меди ротора:

$$M = \frac{P_{\text{с2}}}{\omega_1},$$

$$\omega = \omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}.$$

Вместо $P_{эм}$ подставим его значение из формулы (151)

$$P_{эм} = \frac{P_{м.рот}}{s}.$$

Тогда

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{P_{м.рот}}{s\omega_1} = \frac{m_2 I_2^2 r_2}{s\omega_1} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (152)$$

т. е. вращающий момент асинхронного двигателя пропорционален потерям в меди ротора.

Путем соответствующих преобразований из этой формулы можно получить следующую формулу момента:

$$M = \frac{mp U_{1\phi}^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]} \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (153)$$

где $U_{1\phi}$ — фазное напряжение обмотки статора.

Из этой формулы можно сделать основной вывод: вращающий момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения сети, подводимого к статору: $M \propto U^2$, т. е. асинхронные двигатели чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

Как видно из векторной диаграммы асинхронного двигателя (рис. 198, е),

$$I_2 \frac{r_2'}{s} = E_2 \cos \psi_2,$$

где ψ_2 — угол сдвига между векторами E_2 и I_2 .

Подставив это выражение в формулу (152), получим

$$M = \frac{m I_2}{\omega_1} E_2 \cos \psi_2.$$

Поскольку на векторной диаграмме изображены величины, соответствующие неподвижному состоянию ротора, подставим в эту формулу значение E_2 из формулы

$$E_2 = 4,44 k_{об2} w_2 f_1 \Phi_m;$$

$$M = \frac{m I_2}{\omega_1} 4,44 k_{об2} f_1 w_2 \Phi_m \cos \psi_2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (154)$$

В силу того что член

$$\frac{4,44 m k_{об2}}{\omega_1} f_1 w_2 = \text{const} = C_M, \quad (155)$$

для данного двигателя, формулу момента можно записать как

$$M = C_M \Phi_m I_2 \cos \psi_2 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (156)$$

т. е. вращающий момент двигателя зависит от результирующего магнитного потока двигателя и от активного тока ротора.

Эта формула идентична формуле момента двигателя постоянного тока (26).

Подставляя в формулу (153) значения s , соответствующие разным значениям нагрузки двигателя, можно построить кривую зависимости вращающего момента от скольжения при постоянных напряжении и частоте сети (рис. 200).

При скольжении $s = 1$, когда $n_2 = 0$, двигатель развивает пусковой момент $M_{\text{п}}$. По мере разгона двигателя скольжение уменьшается, а вращающий момент двигателя увеличивается. При пуске двигателя в ход, когда $s = 1$, частота тока в роторе $f_2 = f_1 = 50$ Гц, индуктивное сопротивление x_2 ротора имеет максимальное значение, угол ψ_2 между векторами тока и э. д. с. наибольший, а $\cos \psi_2$ наименьший, поэтому и вращающий момент при пуске невелик, что видно из уравнения момента (156).

При разгоне двигателя частота тока в роторе $f_2 = sf_1$ уменьшается, вследствие чего снижается его индуктивное сопротивление, что приводит к уменьшению угла ψ_2 , увеличению $\cos \psi_2$ и возрастанию вращающего момента.

Максимального значения вращающий момент достигает при критическом скольжении, которое определяют из формулы

$$s_{\text{кр}} = \frac{r'_2}{x_1 + x'_2} = \frac{r'_2}{x_{\text{к}}} \quad (157)$$

Формулу критического скольжения получаем путем исследования уравнения момента (153) на максимум, для чего берем производную $\frac{dM}{ds}$ этого уравнения и приравняем ее нулю.

Область устойчивой работы двигателя показана на участке кривой OA , когда с возрастанием нагрузки скольжение увеличивается. На этом участке кривой и находится точка, соответствующая номинальному моменту двигателя $M_{\text{н}}$. Петрудно сделать вывод о том, что в пределах номинальной мощности вращающий момент двигателя пропорционален скольжению.

Обычно у асинхронных двигателей номинальный момент $M_{\text{н}}$ соответствует скольжению 3—5%.

Перегрузка двигателя моментом сопротивления рабочей машины, равным максимальному моменту двигателя, приводит к остановке двигателя. Отношение $k_M = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$ характеризует перегрузочную способность двигателя. Для асинхронных двигателей нормального исполнения мощностью до 100 кВт это отношение находится в пределах 1,7—3,4, причем большие значения относятся к двигателям с большими скоростями вращения.

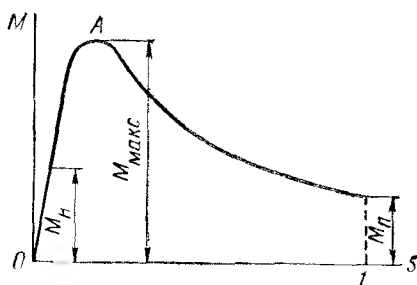


Рис. 200. Зависимость вращающего момента асинхронного короткозамкнутого двигателя от скольжения.

Пусковые свойства двигателей характеризует отношение пускового момента к номинальному $k_n = \frac{M_n}{M_n}$. Для двигателей нормального исполнения мощностью до 160 кВт это отношение составляет 1,0–2,2, причем для двигателей меньшей мощности это отношение больше.

Подставив в уравнение момента (153) значение критического скольжения (157), получают уравнение максимального момента двигателя:

$$M_{\max} = \frac{P_m U_{\text{ф}}}{2\pi f_1 2 [r_1 + \frac{r_2'}{s_{\text{кр}}} + (x_1 + x_2')^2]} \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (158)$$

Из этого уравнения видно, что максимальный момент двигателя не зависит от активного сопротивления r_2' цепи ротора, но от сопротивления r_2' в цепи ротора зависит критическое скольжение, т. е. то скольжение, при котором двигатель развивает максимальный момент.

Этот вопрос имеет особое значение для двигателей с фазным ротором. Нужно, чтобы при пуске двигатель развивал максимальный момент, а скольжение в начальный момент пуска равно единице. Подставив это значение скольжения в формулу (157), получим

$$1 = \frac{r_2'}{x_{\text{к}}}; \quad \text{откуда} \quad r_2' = x_{\text{к}}. \quad (159)$$

Следовательно, максимальный вращающий момент при пуске асинхронный двигатель будет развивать, если $r_2' = x_{\text{к}}$, т. е. когда приведенное активное сопротивление цепи ротора равно общему индуктивному сопротивлению приведенного двигателя.

Под сопротивлением r_2' понимают суммарное сопротивление обмотки ротора и пускового реостата в цепи ротора: $r_2' = r_{\text{рот}} + r_{\text{пр-рот}}$. Обычно сопротивление фазы реостата выбирают, исходя из соотношения $r_{\text{ф.реост}} = (8 \div 10) r_{\text{ф.рот}}$.

Вращающий момент асинхронного двигателя можно также определить по формуле (27), как и для двигателя постоянного тока:

$$M = 9,55 \frac{P_2}{n_2} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Зависимость момента от скольжения выражает упрощенная формула Клосса:

$$M = \frac{s M_{\max}}{s_{\text{кр}} + s}. \quad (160)$$

Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} = s_n (k_M + \sqrt{k_M^2 - 1}). \quad (161)$$

Подставляя в эту формулу различные значения скольжения s , можно получить соответствующие им значения моментов и построить кривую зависимости момента от скольжения, достаточно точную в области устойчивой работы.

Уравнения вращающего момента асинхронного двигателя

Какие соотношения надо использовать, чтобы от выражения $M = \frac{P_{эм}}{\omega_1}$ перейти к выражению $M = \frac{mI_2^2 r_2}{\omega_1 s}$?	$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}; \quad n_1 = \frac{60f_1}{p}$	1783
	$P_{эм} = \frac{P_{м.рот}}{s}; \quad P_{м.рот} = mI_2^2 r_2$	1633
	$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}; \quad P_{м.рот} = sP_{эм}$	1646
Вращающий момент асинхронного двигателя увеличился. Как изменились потери на нагрев обмотки ротора?	Увеличились	1395
	Уменьшились	1767
	Не изменились	1420
Напряжение, подведенное к обмотке статора асинхронного двигателя, увеличено в 2 раза. Как изменился вращающий момент?	Не изменился	1798
	Увеличился в 2 раза	1524
	Увеличился в 4 раза	1670
Как изменяется вращающий момент асинхронного двигателя при увеличении скольжения от 0 до 1?	Увеличивается	1549
	Уменьшается	1823
	Сначала увеличивается, потом уменьшается	1435
	Сначала уменьшается, потом увеличивается	1695
	Сначала увеличивается, потом уменьшается	1435
Как изменяются при уменьшении скольжения: а) ток в роторе; б) угол сдвига по фазе между током и э. д. с. ротора?	а) уменьшается; б) уменьшается	1563
	а) увеличивается; б) увеличивается	1848
	а) уменьшается; б) увеличивается	1588

Уравнения вращающего момента асинхронного двигателя

Момент нагрузки на валу асинхронного двигателя увеличился. Как изменился вращающий момент, если: а) рабочая точка находится в активной части, б) рабочая точка находится в реактивной части кривой $f(s)$?	а) увеличился; б) увеличился	1718
	а) увеличился; б) уменьшился	1460
	а) уменьшился; б) уменьшился	1872

Номинальный момент двигателя 20 Н·м. При критическом скольжении двигатель развивает вращающий момент 40 Н·м. Определите перегрузочную способность двигателя	2	1476
	0,5	1885
	Для ответа на вопрос недостаточно данных	1600
Активное сопротивление цепи ротора асинхронного двигателя увеличено. Как изменились: а) пусковой момент; б) максимальный момент?	а) увеличился; б) уменьшился	1741
	а) увеличился; б) не изменился	1497
	а) не изменился; б) увеличился	1899
Сопротивление одной фазы обмотки ротора асинхронного двигателя 0,5 Ом. Выберите сопротивление пускового реостата для этого двигателя	0,5 Ом	1621
	5 Ом	1753
	Для выбора недостаточно данных	1382
Определите вращающий момент асинхронного двигателя, если $P_2 = 5,8$ кВт; $n_2 = 2900$ об/мин	19,1 Н·м	1511
	$19,1 \cdot 10^{-3}$ Н·м	1784

§ 3. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Рабочие характеристики асинхронного двигателя (рис. 201) отражают зависимости скорости вращения n_2 , коэффициента полезного действия η , полезного момента M_2 , коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ и тока I_1 от полезной мощности P_2 при постоянных значениях напряжения U_1 и частоты f_1 сети.

Зная скольжение s , определяют n_2 по формуле (132):

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

Скорость вращения ротора двигателя с изменением нагрузки изменяется незначительно.

Кривая момента несколько выгнута вверх, так как с увеличением нагрузки скорость вращения несколько уменьшается, а вследствие того, что $P_2 = M_2 \omega_2$, то при уменьшении ω_2 момент M_2 должен соответственно увеличиться. Коэффициент мощности при холостом ходе

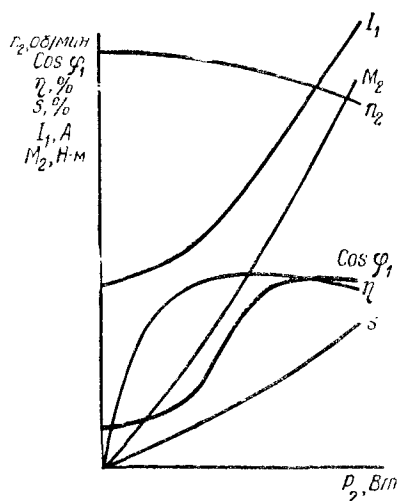


Рис. 201. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

невелик (около 0,2). По мере увеличения нагрузки он возрастает, достигая наибольшего значения при нагрузке, близкой к номинальной. При дальнейшем увеличении нагрузки коэффициент мощности незначительно уменьшается, что объясняется увеличением скольжения s и повышением вследствие этого индуктивного сопротивления ротора.

Ток двигателя I_1 с ростом нагрузки увеличивается вначале медленно, так как ток статора $\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + (-\vec{I}_2)$, а затем почти пропорционально повышению мощности P_2 .

Рабочие характеристики получают, либо построив круговую диаграмму, либо снимая их на специальных тормозных стендах.

КАРТОЧКА № 107 (202)

Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Какие из следующих величин не используются при построении рабочих характеристик: скорость вращения, к. п. д., коэффициент мощности; ток, потребляемый из сети, вращающий момент; скольжение?	Скорость вращения и скольжение	1634
	Коэффициент мощности и к. п. д.	1647
	Ток, потребляемый из сети	1396
	При построении рабочих характеристик используются все названные величины	1768
Какие величины должны быть постоянными при построении рабочих характеристик асинхронного двигателя?	$U_1; I_1$	1421
	$P_2; n_2$	1799
	$U_1; f_1$	1525
	$s; n_1$	1671
Почему вращающий момент асинхронного двигателя растет относительно быстрее, чем возрастает мощность на валу?	Потому что ток, потребляемый двигателем из сети, при повышении нагрузки увеличивается	1550
	Потому что скорость ротора при увеличении нагрузки уменьшается	1824
Как изменяются при увеличении нагрузки на валу скольжение s и скорость n ротора асинхронного двигателя?	n — уменьшается; s — увеличивается	1436
	n — уменьшается; s — увеличивается	1696
Почему при значительном увеличении нагрузки на валу асинхронного двигателя его коэффициент мощности уменьшается?	Потому что уменьшаются скольжение и индуктивное сопротивление ротора sx_2	1564
	Потому что увеличиваются скольжение и индуктивное сопротивление ротора sx_2	1849

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Решение задач по асинхронным двигателям

Цель работы. Определить расчетным путем основные номинальные величины двигателей (ток, момент, скольжение и др.).

П л а н р а б о т ы. Рассмотрим решение подобных задач на нескольких примерах.

Пример 1. Определить номинальный ток трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя типа А02-32-2 и его пусковой ток, если $P_{\text{н}} = 4 \text{ кВт}$, $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,9$, $\eta_{\text{н}} = 86\%$, $I_{\text{н}}/I_{\text{п}} = 6,6$, $U_{\text{л.н}} = 380 \text{ В}$. Обмотки статора соединены в звезду.

Р е ш е н и е. Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{3 U_{\text{л.н}} \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{4000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,9} = 7,8 \text{ А.}$$

Пусковой ток

$$I_{\text{п}} = 6,6 I_{\text{н}} = 6,6 \cdot 7,8 = 51,4 \text{ А.}$$

Пример 2. Определить при номинальной нагрузке к. п. д. асинхронного двигателя, основные данные которого: $I_{\text{н}} = 14 \text{ А}$, $U_{\text{л.н}} = 380 \text{ В}$, $s_{\text{н}} = 3\%$, $r_{1\text{с}} = 0,64 \text{ Ом}$, $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,83$, $P_{\text{ст}} = 170 \text{ Вт}$, $P_{\text{мех}} = 94 \text{ Вт}$ и $P_{\text{доб}} = 40 \text{ Вт}$.

Р е ш е н и е. Потери в меди статора при номинальной нагрузке

$$P_{\text{м.ст}} = 3 I_{\text{н}}^2 r_{1\text{с}} = 3 \cdot 14^2 \cdot 0,64 = 376 \text{ Вт.}$$

Мощность, потребляемая из сети при нормальной нагрузке,

$$P_{\text{л}} = 3 U_{\text{л.н}} I_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} = 1,73 \cdot 380 \cdot 14 \cdot 0,86 = 7900 \text{ Вт.}$$

Электромагнитная мощность двигателя

$$P_{\text{эм}} = P_{\text{л}} - (P_{\text{ст}} + P_{\text{м.ст}}) = 7900 - (170 + 376) = 7354 \text{ Вт.}$$

Потери в меди ротора

$$P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} \cdot 0,03 = 7354 \cdot 0,03 = 220 \text{ Вт.}$$

Суммарные потери

$$\Sigma P = P_{\text{ст}} + P_{\text{м.ст}} + P_{\text{м.рот}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}} = 170 + 376 + 220 + 94 + 40 = 900 \text{ Вт.}$$

К. п. д. двигателя

$$\eta = \frac{P_{\text{л}} - \Sigma P}{P_{\text{л}}} = \frac{7900 - 900}{7900} = 0,89.$$

Пример 3. Определить вращающий момент асинхронного двигателя, у которого $P_2 = 7 \text{ кВт}$, $n_2 = 1450 \text{ об/мин}$.

Р е ш е н и е. Вращающий момент

$$M = 9,55 \cdot \frac{7 \cdot 1000}{1450} \approx 46,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пример 4. Найти сопротивление пускового реостата для асинхронного двигателя с фазным ротором, если $r_{\text{рот}} = 0,02 \text{ Ом}$, $x_2 = 0,68 \text{ Ом}$, $x_1 = 2,24 \text{ Ом}$, $w_1 = 180$, $w_2 = 36$, $k_{\text{до.стат}} = k_{\text{до.рот}}$.

Р е ш е н и е. Асинхронный двигатель с фазным ротором развивает максимальный вращающий момент при условии, что

$$r_{\text{рост}} + r_{\text{рот}} = x_{\text{к}}.$$

Найдем $x_{\text{к}}$ асинхронного двигателя:

$$x_{\text{к}} = x_1 + x_2.$$

Приведем индуктивное сопротивление вторичной обмотки ротора к первичной:

$$x'_2 = k^2 x_2.$$

Найдем коэффициент трансформации k асинхронного двигателя с фазным ротором при условии, что $m_1 = m_2$:

$$k = \frac{w_1 k_{об1}}{w_2 k_{об2}} = \frac{180}{36} = 5.$$

Тогда

$$x'_2 = 5^2 \cdot 0,08 = 2 \text{ Ом},$$

$$x_K = x_1 + x'_2 = 2,24 + 2 = 4,24 \text{ Ом}.$$

Приведенное сопротивление обмотки ротора

$$r'_{рот} = k^2 r_{рот} = 5^2 \cdot 0,02 = 0,5 \text{ Ом}.$$

Следовательно,

$$r'_{рост} = x_K + r'_{рот} = 4,24 + 0,5 = 3,74 \text{ Ом}.$$

Зная приведенное сопротивление одной фазы ротора, находим его действительное сопротивление:

$$r_{рост} = \frac{r'_{рост}}{k^2} = \frac{3,74}{5^2} = \frac{3,74}{25} = 0,15 \text{ Ом}.$$

Пример. Определить значения ε , p , I_n , $I_{н.}$, M_n , $M_{н.}$, $M_{макс}$ для электродвигателей типа АО2 обмотки которых соединены в звезду, а основные данные приведены ниже.

Вариант	1	2	3
P_n , кВт	0,8	4	10
n_n , об/мин	2830	1440	965
η_n , %	78	86	88
$\cos \varphi_n$	0,86	0,85	0,89
$I_n / I_{н.}$	7	7	7
$M_n / M_{н.}$	1,9	1,5	1,2
$M_{макс} / M_{н.}$	2,2	2	1,8
U_n , В	380	380	380

Глава XXVI

АСИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

§ 1. Асинхронный генератор с возбуждением от сети

Как известно, в асинхронной трехфазной машине, статор которой подключен к сети трехфазного переменного тока, образуется вращающееся магнитное поле. Если ротор этой асинхронной машины вращать первичным двигателем (рис. 202, а) по направлению вращающегося магнитного поля статора со скоростью n_2 , большей на 3—5%, чем скорость n_1 магнитного поля статора, то такая машина будет работать

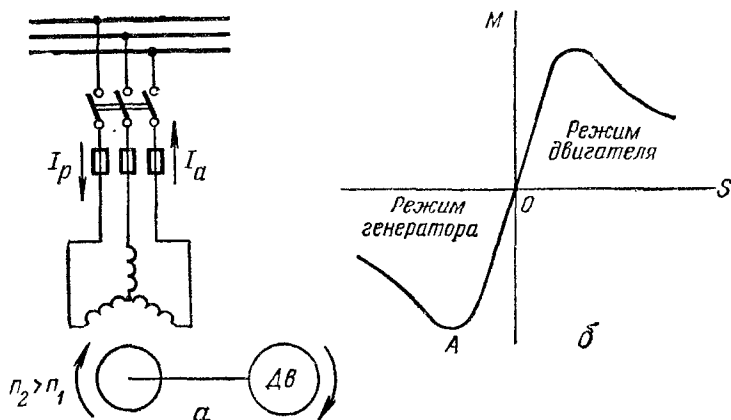


Рис. 202. Асинхронный генератор с возбуждением от сети:
а — схема; б — кривые $M = f(s)$.

в режиме асинхронного генератора. Поскольку $n_2 > n_1$, скольжение ротора будет отрицательным:

$$-s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Асинхронная машина, работающая в режиме генератора, потребляет реактивную энергию из сети для создания вращающегося магнитного поля, а активную отдает в сеть. На рисунке 202,б показан график зависимости момента от скольжения асинхронной машины в режимах двигателя и генератора. Участок OA характеризует область устойчивой работы генератора. Здесь с увеличением скольжения возрастает вращающий момент, прикладываемый к валу машины. За точкой A наступает область неустойчивой работы генератора, когда с увеличением скорости момент и мощность генератора уменьшаются.

Асинхронные генераторы не нужно синхронизировать с сетью. Частота тока, вырабатываемого асинхронным генератором, и его напряжение определяются величинами напряжения и частоты в сети и не зависят от скорости вращения ротора генератора.

Поскольку асинхронный генератор потребляет реактивную энергию из сети, то он сильно ухудшает коэффициент мощности в сети, что является его самым большим недостатком.

Асинхронную машину в режиме генератора используют в электрических стендах для обкатки и испытания автотракторных двигателей, например в стенде СТЭУ-28-ГОСПИТИ. Здесь асинхронная машина работает в двух режимах: как электродвигатель для холодной обкатки автотракторных двигателей и как асинхронный генератор при горячей обкатке автотракторных двигателей, причем она служит электро-тормозом, а электроэнергия, вырабатываемая ею, отдается в сеть.

Асинхронный генератор с возбуждением от сети

Укажите условие, при котором асинхронная машина работает как генератор	Скорость вращения поля статора больше, чем скорость вращения ротора	1589
	Скорость вращения поля ротора больше, чем скорость вращения поля статора	1719
	Скорость вращения ротора больше, чем скорость вращения поля статора	1461
При каком скольжении обычно работает асинхронный генератор?	$s = 0,03 \div 0,05$	1873
	$s = 0,3 \div 0,5$	1477
	$s = - (0,03 \div 0,05)$	1886
Асинхронный генератор с возбуждением от сети	потребляет реактивную мощность из сети	1601
	отдает в сеть большую реактивную мощность	1742
За счет каких источников создаются в асинхронном генераторе: а) вращающееся магнитное поле; б) активная мощность, отдаваемая в сеть?	а) реактивной мощности сети; б) мощности первичного двигателя	1498
	а) активной мощности сети; б) реактивной мощности сети	1900
	а) мощности первичного двигателя; б) реактивной мощности сети	1622
Укажите основной недостаток асинхронного генератора	Непостоянство частоты вырабатываемого напряжения	1754
	Малый коэффициент мощности	1383
	Непостоянство величины вырабатываемого напряжения	1512

§ 2. Асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением

Асинхронная машина в режиме генератора может работать и без возбуждения от сети переменного тока. В этом случае для возбуждения к зажимам статора присоединяют батарею конденсаторов, а ротор асинхронной машины при нагрузке вращают со скоростью n_2 , на 3—5% большей ее синхронной скорости (рис. 203, а).

Непрерывное условие самовозбуждения генератора — наличие остаточного магнетизма в стали ротора. При вращении ротора магнит-

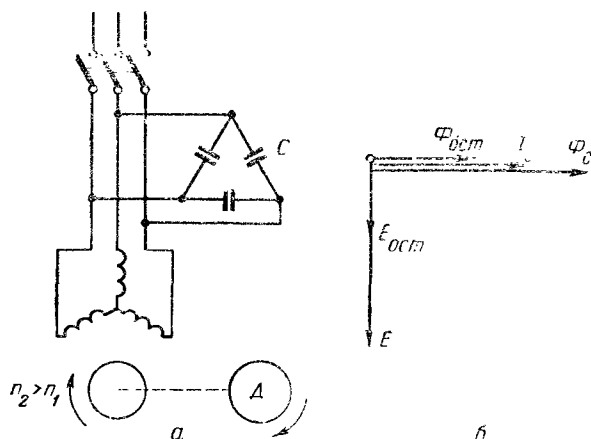


Рис. 203. Асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением:

а — схема; б — векторная диаграмма.

ный поток остаточного магнетизма пересекает витки обмотки статора и индуцирует в них э. д. с. $E_{ост}$ (рис. 203, б), отстающую от потока $\Phi_{ост}$ на 90° .

Под действием этой э. д. с. через конденсаторы протекает ток статора I_c , опережающий э. д. с. $E_{ост}$ на 90° . Ток I_c создает в машине магнитный поток Φ_c , который, складываясь с магнитным потоком остаточного магнетизма, увеличивает э. д. с. $E_{ост}$, что вызывает усиление тока I_c и дальнейшее возрастание э. д. с., величина которой в конце процесса достигает примерно номинального напряжения асинхронной машины. Конечное значение э. д. с. самовозбуждения зависит от степени насыщения стали машины, сопротивления обмоток статора и емкости конденсаторов. При изменении скорости вращения ротора частота и напряжение генератора изменяются.

Емкость конденсаторов для самовозбуждения асинхронного генератора подсчитывают по формуле

$$C = \frac{k I_n 10^6}{2\pi f_1 U_\phi} \text{ мкФ}, \quad (162)$$

где C — емкость конденсаторов на одну фазу при соединении их в звезду для обеспечения номинального напряжения при холостом ходе генератора, мкФ;

k — отношение тока холостого хода I_0 двигателя, используемого в качестве асинхронного генератора, к номинальному току I_n этого двигателя (в зависимости от мощности двигателя $k = 0,25 : 0,80$);

U_ϕ — фазное напряжение, на которое рассчитан двигатель, В.

При соединении батарей конденсаторов в треугольник необходимая емкость уменьшается в 3 раза.

При холостом ходе генератора скольжение равно нулю, а частота э. д. с. равна частоте вращения, определяемой по формуле

$$f_{вр} = \frac{p n_2}{60}.$$

При нагрузке генератора напряжение генератора и частота тока уменьшаются, если скорость вращения ротора $n_2 = \text{const}$. Поэтому, чтобы увеличение нагрузки на генератор не сказалось на величине напряжения ($U = \text{const}$), необходимо соответственно увеличивать емкость батарей конденсаторов и для сохранения частоты постоянной увеличивать скорость вращения его ротора.

При подключении к генератору активно-индуктивной нагрузки емкость конденсаторов нужно увеличивать в большей степени, чем при активной нагрузке.

Из-за высокой стоимости конденсаторных батарей и их громоздкости такие генераторы в практике применения не нашли.

КАРТОЧКА № 109 (227)

Асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением

С каким скольжением работает асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением?	С отрицательным скольжением	1513
	С положительным скольжением	1785
Что произойдет, если конденсатор заменить катушками индуктивности?	Напряжение генератора резко увеличится	1635
	Напряжение генератора уменьшится до нуля	1648
	Скольжение резко увеличится	1397
Зависит ли частота тока асинхронного генератора от скорости вращения приводного двигателя?	Зависит	1769
	Не зависит	1422
Как изменится напряжение на клеммах асинхронного генератора при подключении индуктивной нагрузки?	Уменьшится	1800
	Не изменится	1526
	Увеличится	1672
Какой из приведенных недостатков не характерен для асинхронных генераторов с конденсаторным возбуждением?	Большая стоимость конденсаторов	1551
	Сложность регулирования напряжения	1825
	Сложность поддержания постоянства частоты	1437
	Низкий к. п. д.	1697

Исследование асинхронных генераторов

Цель работы. Изучение работы асинхронной машины в режиме генератора.

План работы. 1. Ознакомиться с данными заводского листка асинхронной машины, используемой в режиме генератора, подобрать приборы и оборудование, собрать схему и запустить в ход асинхронный генератор с возбуждением от сети.

2. Нагрузить асинхронный генератор и определить скольжение s , подводимую к генератору мощность P_2 , отдаваемую генератором мощность P_1 .

3. Подобрать приборы и оборудование, подсчитать емкость конденсаторов, собрать схему и запустить асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением.

4. Нагрузить генератор и определить емкостной ток I_c , ток нагрузки $I_{нг}$, напряжение U , частоту f_1 , скольжение s при синхронной скорости вращения n_2 .

5. Схемы и данные опыта занести в отчет.

Пояснения к работе. Перед включением асинхронной машины в сеть необходимо проверить, совпадает ли направление вращения поля, создаваемого обмоткой статора, с направлением вращения ротора, приводимого в движение от двигателя постоянного тока. Для этого при разомкнутом рубильнике $P2$ пускают в ход двигатель постоянного тока и замечают, в какую сторону вращается ротор (рис. 204). Затем отключают рубильник $P1$, пускают в ход асинхронную машину в режиме двигателя, включая в сеть рубильник $P2$. Направление вращения ротора должно быть таким же.

При несовпадении направлений вращения изменяют направление вращения поля статора, выключив два любых провода, подходящих к обмотке статора.

Затем при отключении рубильника $P2$ разворачивают ротор асинхронной машины до синхронной скорости и включают статор асинхронной машины в сеть рубильником $P2$. В этом случае асинхронная машина будет потреблять из сети только реактивный намагничивающий ток.

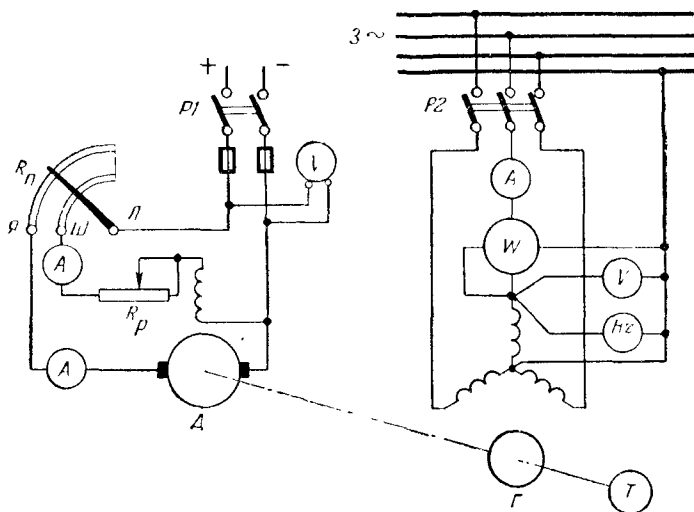


Рис. 204. Схема асинхронного генератора с возбуждением от сети,

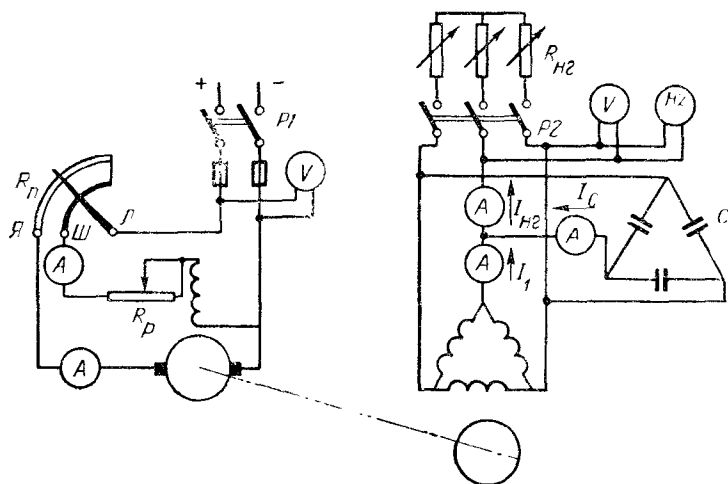


Рис. 205. Схема асинхронного генератора с самовозбуждением от конденсаторов.

Для загрузки машины увеличивают постепенно скорость вращения двигателя постоянного тока. Следует иметь в виду, что номинальную мощность асинхронный генератор развивает примерно при том же скольжении, что и при работе двигателем, поэтому не нужно сильно увеличивать скорость вращения его ротора.

Увеличивая нагрузку на генератор, записывают показания приборов и измеряют скорость вращения n_2 ротора генератора тахометром T .

Полученные данные позволяют определить следующие величины: скольжение

$$-s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100,$$

где $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ — скорость вращения поля статора;

n_2 — скорость вращения ротора генератора; отдаваемую генератором мощность

$$P_1 = 3P_{1\phi},$$

где $P_{1\phi}$ — мощность одной фазы, измеряемая ваттметром W ;

подводимую к генератору механическую мощность от двигателя постоянного тока

$$P_2 = U(I_{\text{я}} + I_{\text{в}})\eta_{\text{дв}}, \quad (163)$$

где U — напряжение постоянного тока, подводимое к двигателю, В;

$I_{\text{я}}$ — ток в цепи якоря двигателя, А;

$I_{\text{в}}$ — ток возбуждения двигателя, А;

$\eta_{\text{дв}}$ — к. п. д. двигателя при данной нагрузке.

Собрав схему и запустив в ход асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением, сообщают ротору генератора синхронную скорость вращения n_2 , возбуждают генератор при холостом ходе. Затем, не изменяя скорости вращения ротора n_2 , загружают генератор симметричной активной нагрузкой, записывая при этом показания приборов, указанных в схеме (рис. 205). Полученные данные используют:

определить скольжение генератора

$$-s\% = -\frac{n_1 - n_2}{n_1} 100,$$

где $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ — скорость вращения поля статора, зависящая от частоты тока статора f_1 ;

$n_2 = \frac{3000}{p}$ — скорость вращения ротора, поддерживаемая постоянной;

определить по показаниям амперметров ток нагрузки и емкостной ток возбуждения;

исследовать зависимость напряжения U , частоты f_1 и скольжения s от нагрузки.

Если сталь ротора утратила остаточный магнетизм и генератор не возбуждается, то остаточный магнетизм может быть восстановлен включением в сеть трехфазного тока статора асинхронной машины на несколько секунд.

Глава XXVII

ПУСК В ХОД И РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

§ 1. Прямой пуск в ход трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей

Самый простой и распространенный способ пуска в ход трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей — прямой пуск, при котором обмотку статора непосредственно включают на полное напряжение сети. В начальный момент пуска, когда скольжение $s = 1$, двигатель находится в режиме короткого замыкания (см. § 1 гл. XXIV), поэтому пусковой ток двигателя в 4–7 раз превышает номинальный. По мере разгона двигателя пусковой ток быстро уменьшается (рис. 206).

Пусковые токи вызывают резкие колебания напряжения в сети, что отрицательно сказывается на работе потребителей, подключенных к этой же сети. Однако если мощность энергосистемы достаточно велика, то прямой пуск двигателей не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на ее работу, поэтому прямой пуск двигателей при полном напряжении сети получил преимущественное распространение.

Предельная мощность трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя, пускаемого прямым включением в сеть, зависит от мощности питающего двигатель трансформатора или генератора. В этом случае в отношении предельной мощности короткозамкнутого двигателя существуют следующие рекомендации:

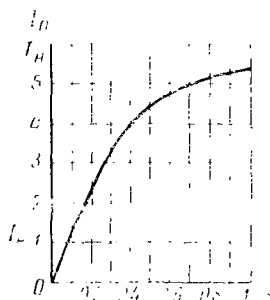


Рис. 206. Изменение тока статора в асинхронном короткозамкнутом двигателе при пуске.

Источник питания	Предельная мощность короткозамкнутого двигателя, пускаемого прямым включением в сеть
Трансформатор, питающий только силовую нагрузку	20% мощности трансформатора при частых пусках и 30% при редких пусках
Трансформатор, питающий силовую и осветительную нагрузки	4% мощности трансформатора при частых пусках и 8% при редких пусках
Электростанция	12% мощности электростанции

Более точно вопрос о предельной мощности короткозамкнутого асинхронного электродвигателя, пускаемого прямым включением в сеть, решают на основании специальных расчетов, в которых проверяют допустимые колебания напряжения в сетях при пуске.

КАРТОЧКА № 110 (333)

Прямой пуск в ход трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей

Чему равно скольжение асинхронного двигателя: а) в режиме короткого замыкания; б) в первый момент после подключения обмотки статора к сети?	$s = 0$	1565
	$s = 1$	1850
	а) $s = 0$; б) $s = 1$	1590
Какие соотношения характерны при $s = 1$ для токов и моментов асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора, M_n — пусковой момент; M_n — номинальный момент; I_n — пусковой ток; I_n — номинальный ток?	$M_n > M_n; I_n > I_n$	1720
	$M_n \approx M_n; I_n \approx I_n$	1462
	$M_n \approx M_n; I_n > I_n$	1874
Трансформатор мощностью 1 кВА питает силовую и осветительную нагрузки. Разрешается ли прямой пуск от этого трансформатора трехфазного асинхронного двигателя мощностью 10 кВт с короткозамкнутой обмоткой ротора?	Разрешается	1478
	Не разрешается	1887

Трансформатор, рассмотренный выше, питает силовую нагрузку. Разрешается ли прямой пуск от этого трансформатора трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя мощностью а) 20 кВт; б) 40 кВт?	Разрешается	1602
	Не разрешается	1743
	а) разрешается; б) не разрешается	1499
Можно ли осуществить прямой пуск в ход трехфазного синхронного двигателя?	Можно	1901
	Нельзя	1623

§ 2. Пуск в ход короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении сети

Уменьшить пусковой ток можно, понизив на время пуска подводимое к двигателю напряжение.

Один из способов пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении заключается в том, что обмотки статора, соединенные треугольником, переключают на период пуска в звезду, а затем, по окончании пуска, вновь соединяют в рабочую схему, т. е. треугольником (рис. 207). Переключение обмоток с треугольника на звезду сопровождается уменьшением фазных напряжения и тока в $\sqrt{3}$ и, следовательно, понижением линейного пускового тока в 3 раза.

Однако подобному способу пуска свойствен весьма серьезный недостаток: вращающий момент двигателя, пропорциональный квадрату напряжения сети, уменьшается в 3 раза. Кроме того, при напряжении сети 380/220 В двигатели этого же напряжения подобным способом пускать в ход нельзя, так как обмотки их статора при работе соединены в звезду.

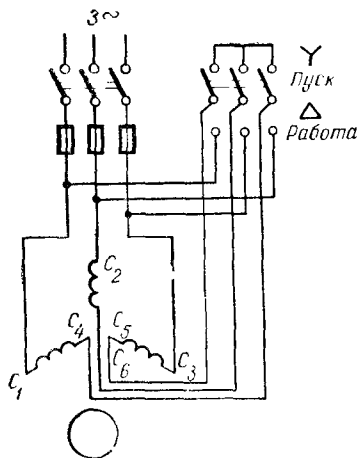


Рис. 207. Схема пуска в ход короткозамкнутого асинхронного двигателя переключением со звезды на треугольник.

Напряжение при пуске в ход асинхронных короткозамкнутых и синхронных двигателей понижают, применяя автотрансформаторы и реакторы. Одна из возможных схем такого пуска, в которой используется автотрансформатор, приведена на рисунке 208. Сначала включают рубильник $P3$, замыкая нулевую точку автотрансформатора, а затем рубильник $P1$, подавая через автотрансформатор AT на двигатель пониженное напряжение. Если $k_{ат}$ — коэффициент трансформации автотрансфор-

мотора, то пусковой ток двигателя уменьшится в $k_{ат}$ раз, а пусковой ток в сети — в $k_{ат}^2$ раз, поскольку первичный ток автотрансформатора в $k_{ат}$ раз меньше вторичного.

После того как ротор двигателя развернется, рубильник $P3$ отключают, замыкая нулевую точку автотрансформатора, и верхние части обмоток автотрансформатора превращаются в реактивные катушки. Напряжение, подводимое к двигателю, повысится, скорость его ротора увеличится. Затем включают рубильник $P2$ и подают на двигатель полное напряжение сети.

Таким образом, пуск двигателя можно назвать трехступенчатым: 1) через автотрансформатор к двигателю подводят 50—70% номинального напряжения; 2) после размыкания рубильника $P3$ на двигатель подают 70—80% номинального напряжения; 3) к двигателю подводят полное напряжение сети.

Основной недостаток и этого способа пуска — уменьшение вращающего момента двигателя, пропорциональное квадрату уменьшения напряжения сети.

Пример 1. Определите, как уменьшается пусковой ток и пусковой момент асинхронного двигателя мощностью 2,8 кВт, если

$$\frac{I_{п}}{I_{н}} = 6, \quad I_{н} = 6,1 \text{ А}, \quad M_{п} = 19 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad k_{ат} = 1,73.$$

Решение. Пусковой ток двигателя при прямом включении в сеть

$$I_{п} = 6I_{н} = 6 \cdot 6,1 = 36,6 \text{ А}.$$

Пусковой ток в сети при включении двигателя через автотрансформатор

$$I_{п} = \frac{I_{п}}{k_{ат}^2} = \frac{36,6}{1,73^2} = 12,2 \text{ А}.$$

Вращающий момент при пуске двигателя через автотрансформатор

$$M_{п1} = \frac{M_{п}}{k_{ат}^2} = \frac{19}{1,73^2} = 6,33 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

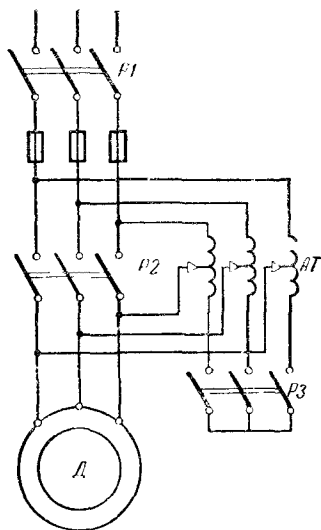


Рис. 208. Пуск в ход асинхронного короткозамкнутого двигателя с понижением напряжения автотрансформатором.

Пуск в ход короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении сети

При нормальной работе обмотки статора асинхронного двигателя соединены треугольником. Линейное напряжение сети 220 В, полное сопротивление каждой обмотки 22 Ом. Чему равны а) ток в обмотке; б) линейный ток, потребляемый двигателем?	а) 10 А; б) $10\sqrt{3}$ А	1755
	а) $10\sqrt{3}$ А; б) $10\sqrt{3}$ А	1384
	а) $10\sqrt{3}$ А; б) 10 А	1514
Для запуска рассмотренного выше двигателя обмотки соединены звездой. Чему равны а) напряжение на каждой обмотке; б) ток в обмотке?	а) 220 В; б) 10 А	1786
	а) $220/\sqrt{3}$ В; б) $10/\sqrt{3}$ А	1636
	а) 220 В; б) $10/\sqrt{3}$ А	1649
Чему равен линейный ток, потребляемый рассмотренным выше двигателем в момент пуска, когда обмотки соединены звездой?	$10/\sqrt{3}$ А	1398
	10 А	1770
Во сколько раз уменьшаются а) линейный ток, потребляемый двигателем; б) вращающий момент двигателя при переключении обмоток статора с треугольника на звезду?	В 3 раза	1423
	В $\sqrt{3}$ раз	1801
Укажите основной недостаток пуска в ход короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении сети	Уменьшение пускового тока	1527
	Уменьшение пускового момента	1673
	Уменьшение мощности, потребляемой двигателем из сети в момент пуска	1552

§ 3. Пуск в ход асинхронных двигателей с фазным ротором

При включении пускового реостата в цепь фазного ротора с соблюдением условия, что $r'_{\text{реост}} = x_K - r'_{\text{рот}}$, получают пусковой момент, равный максимальному.

Критическое скольжение $s_{\text{кр}}$, при котором двигатель развивает максимальный вращающий момент, определяется формулой (157):

$$s_{\text{кр}} = \frac{r'_2}{x_K},$$

где $r'_2 = r'_{\text{рот}} + r'_{\text{реост}}$.

В начальный момент пуска скольжение $s = 1$, поэтому $r'_2 = x_K$, все сопротивление реостата включено в цепь ротора, что соответ-

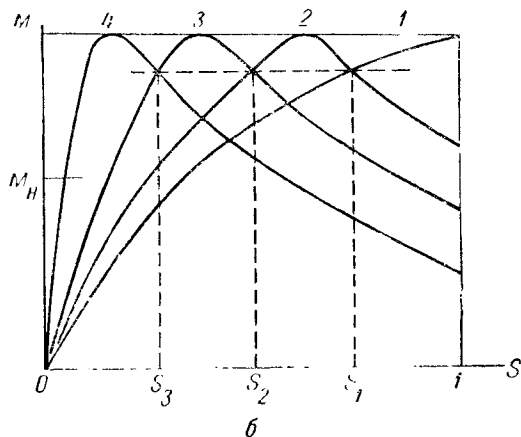
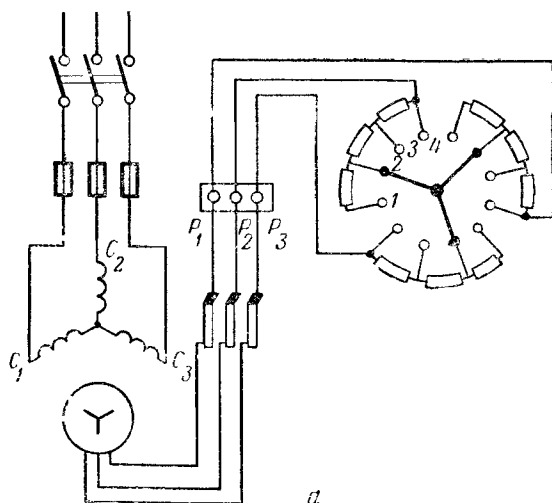


Рис. 209. Пуск в ход асинхронного двигателя с фазным реостатом:

a — схема; *b* — кривые моментов.

свует положению рукоятки реостата на клемме 1 (рис. 209,*a*) и кривой 1 (рис. 209,*б*).

После того как ротор двигателя развернется до скорости, при которой скольжение равно s_1 , переводят рукоятку реостата на клемму 2 реостата, что соответствует кривой 2 зависимости момента от скольжения. Затем рукоятку реостата переводят на клемму 3 (кривая 3) и после разбега двигателя на этой ступени реостата полностью выводят сопротивление реостата, устанавливая рукоятку на клемму 4 (кривая 4). Таким образом, своевременное переключение рукоятки реостата при скольжениях s_1 , s_2 и s_3 (рис. 209,*б*) дает воз-

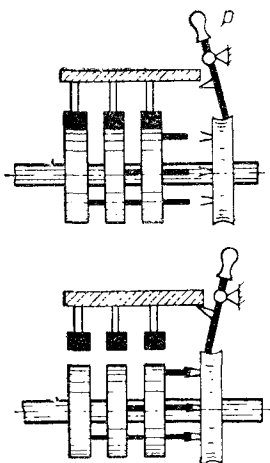


Рис. 210. Механизм для замыкания колец и подъема щеток асинхронного двигателя с фазным ротором.

возможность сохранить почти максимальное значение момента во время всего периода пуска двигателя. Пусковой ток двигателя с фазным ротором превышает его номинальный ток в 1,5—2 раза.

При пуске в ход двигателя с небольшой нагрузкой, когда не требуется достижения максимального пускового вращающего момента, сопротивление реостата берут, чтобы уменьшить пусковой ток, несколько большим, чем то, которое соответствует максимальному пусковому моменту. Включать в сеть и выключать из сети двигателя с разомкнутым фазным ротором нельзя, так как в первом случае наблюдаются большие всплески пускового тока, а во втором — в обмотках статора и ротора возникают опасные для изоляции обмоток перенапряжения. Поэтому пусковые реостаты к этим двигателям не имеют холостых контактов и цепь ротора всегда замкнута.

Для предотвращения износа щеток и колец ротора и уменьшения потерь на трение двигателя большой и средней мощности снабжают специальными механизмами для подъема щеток и замыкания колец накоротко (рис. 210). С этой целью поворачивают рукоятку P после полного разгона ротора двигателя при выведенном пусковом реостате.

Порядок остановки двигателя таков: 1) опускают щетки на кольца; 2) вводят сопротивление пускового реостата (если оно не введено); 3) отключают статор от сети. Таким образом, двигатель оказывается полностью подготовленным к следующему пуску.

КАРТОЧКА № 112 (331)

Пуск в ход асинхронных двигателей с фазным ротором

Индуктивное сопротивление статора 2,5 Ом. Приведенное индуктивное сопротивление ротора 2,5 Ом. Определите сопротивление цепи ротора, при котором пусковой момент будет наибольшим	$r'_2 = 2,5 \text{ Ом}$	1626
	$r'_2 = 4 \text{ Ом}$	1438
	$r'_2 = 5 \text{ Ом}$	1698
В условиях предыдущей задачи приведенное активное сопротивление обмотки ротора равно 1 Ом. Найдите приведенное сопротивление одной фазы пускового реостата, при котором пусковой момент будет наибольшим	1 Ом	1566
	3 Ом	1851
	4 Ом	1591

Определите действительное сопротивление одной фазы пускового реостата, если коэффициент трансформации рассмотренного выше асинхронного двигателя $k = 5$	100 Ом	1721
	0,16 Ом	1463
	20 Ом	1875
В каком положении находится пусковой реостат а) в момент пуска; б) при работе двигателя?	а) полностью введен; б) полностью выведен, кольца закорочены	1479
	а) полностью выведен; б) полностью введен	1888
	В одном из средних положений	1603
Укажите порядок остановки асинхронного двигателя, снабженного пусковым реостатом	Отключить двигатель от сети; полностью ввести пусковой реостат; опустить щетки на кольца	1744
	Разомкнуть кольца и опустить щетки; полностью ввести пусковой реостат; отключить двигатель от сети	1500

§ 4. Регулирование скорости асинхронных двигателей

Трудность регулирования скорости — весьма существенный недостаток асинхронных короткозамкнутых двигателей.

Из формулы $n_2 = \frac{60f_1}{p} (1 - s)$ следует, что скорость асинхронных двигателей можно регулировать, изменяя скольжение s , частоту f_1 или число пар полюсов p .

Регулирование скорости изменением скольжения применяют в двигателях с фазным ротором. Для этого на место пускового реостата включают регулировочный и, изменяя сопротивление этого реостата, регулируют скорость двигателя. Пусковой реостат здесь использовать нельзя, так как он рассчитан на кратковременное прохождение по нему пускового тока.

Как известно, с увеличением сопротивления реостата в цепи ротора увеличивается скольжение двигателя (рис. 211), что вызывает уменьшение скорости вращения ротора, поскольку

$$n_2 = n_1 (1 - s).$$

Этот способ регулирования нельзя назвать экономичным, так как, согласно формуле (151), электрические потери в роторе пропорциональны скольжению. Серьезным недостатком следует считать то обстоятельство, что при уменьшении нагрузки пределы регулирования скорости снижаются, например при уменьшении вращающего

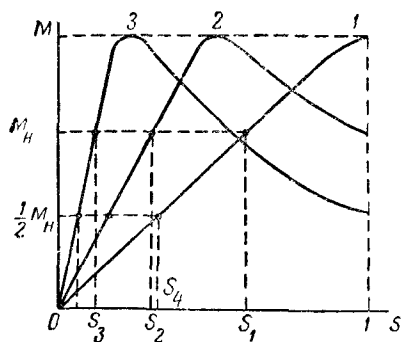


Рис. 211. Кривые зависимости вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения при регулировании скорости изменением скольжения.

момента в 2 раза величина скольжения s_4 при включении первой ступени реостата будет меньше скольжения s_1 . К недостаткам же необходимо отнести зависимость скорости от нагрузки, о чем можно судить по кривым, представленным на рисунке 211. Несмотря на указанные недостатки, этот способ регулирования широко распространен, так как позволяет осуществить плавное регулирование скорости в широких пределах.

Регулирование скорости изменением частоты f_1 применяют весьма ограниченно, поскольку этот способ требует установки преобразо-

вателя частоты на группу двигателей, скорость которых нужно одновременно и в одинаковой степени изменять.

Регулирование скорости изменением числа пар полюсов обмотки статора наиболее распространенный способ регулирования скорости трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей. Для этого обмотку статора выполняют так, что переключением групп катушек можно изменить число пар полюсов, или на статоре укладывают две отдельные обмотки на разное число полюсов. Ротор в этом случае делают обычный коротко-

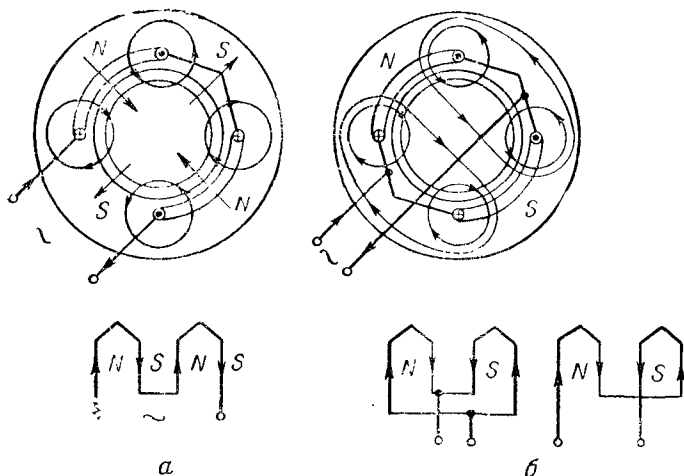


Рис. 212. Изменение числа пар полюсов переключением катушек обмотки:

а — две пары полюсов; б — одна пара полюсов.

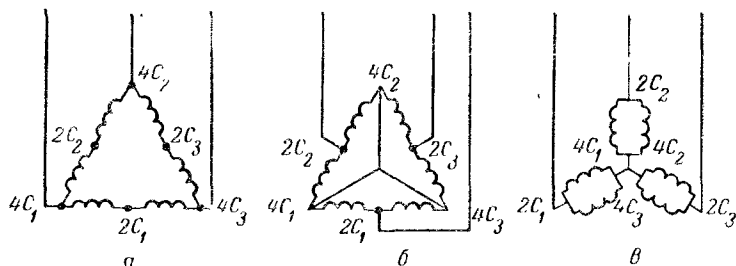


Рис. 213. Схема обмотки двухскоростного двигателя при соединении ее в треугольник (а) и в двойную звезду (б и в).

замкнутый, число полюсов его всегда равно числу полюсов обмотки статора.

Рассмотрим одну фазу двигателя, состоящую из двух катушек, которые могут быть включены последовательно и параллельно. Тогда при последовательном включении на статоре образуется две пары полюсов (рис. 212, а), а при параллельном — одна (рис. 212, б). Два полюса обмотки статора можно получить и при последовательном соединении катушек, если поменять местами концы одной из катушек обмотки.

Для того чтобы при переключении катушек магнитная индукция в стали статора существенно не изменялась, прибегают к другой схеме соединения фазных обмоток. Широкое применение нашла схема двойная звезда — треугольник, в которой при последовательном соединении катушек фазные обмотки соединяют в треугольник (рис. 213, а), а при параллельном в двойную звезду (рис. 213, б). С этой целью точки $4C_1$, $4C_2$ и $4C_3$ замыкают переключателем, а к точкам $2C_1$, $2C_2$ и $2C_3$ подводят напряжение сети. Для лучшего представления о соединении обмоток в двойную звезду на рисунке 213, в изображена та же схема, что и на рисунке 213, б, но с несколько иным расположением катушек.

Несмотря на сложность конструкции переключателя и увеличение габаритов двигателя, заводы страны выпускают двух-, трех- и четырехскоростные двигатели, например четырехскоростные на синхронные скорости 1500/1000/750/500 об/мин.

Обозначения выводов обмоток остаются теми же, что и у обычных асинхронных двигателей, с добавлением впереди обозначения вывода цифры, показывающей число полюсов, при котором вывод должен быть подключен к сети. Двухскоростные двигатели имеют 6 выводов и переключатель полюсов, трехскоростные — 9 и четырехскоростные — 12.

Многоскоростные двигатели применяют для электропривода станков и различных механизмов, скорость которых нужно регулировать в широких пределах.

Регулирование скорости асинхронных двигателей

Можно ли плавно и в широких пределах регулировать скорость вращения асинхронного двигателя, меняя частоту тока?	Можно	1902
	Нельзя	1624
	Можно, но требуется специальный преобразователь частоты	1756
Как осуществляется плавное регулирование в широких пределах скорости вращения короткозамкнутого асинхронного двигателя, если нет специального преобразователя частоты?	Изменением числа пар полюсов вращающегося магнитного поля обмотки статора	1385
	Изменением сопротивления цепи обмотки ротора	1515
	Скорость не регулируется	1787
Каким образом осуществляется плавное регулирование в широких пределах скорости вращения асинхронного двигателя с фазной обмоткой ротора?	Изменением числа пар полюсов вращающегося магнитного поля обмотки статора	1637
	Изменением сопротивления цепи обмотки ротора	1650
	Скорость не регулируется	1399
Как осуществляется ступенчатое регулирование скорости вращения асинхронного двигателя?	Изменением сопротивления цепи обмотки ротора	1771
	Переключением секций обмотки статора, вследствие чего изменяется число пар полюсов	1424
Укажите основной недостаток асинхронного двигателя	Зависимость скорости вращения от момента механической нагрузки на валу	1802
	Отсутствие экономичных устройств для плавного регулирования скорости	1528
	Низкий к. п. д.	1674

§ 5. Изменение направления вращения и торможение асинхронных двигателей

Для изменения направления вращения (реверсирования) ротора трехфазного асинхронного двигателя необходимо изменить направление вращения магнитного поля статора. С этой целью достаточно поменять местами два любых провода, подводящих ток к обмотке статора.

Торможение асинхронных двигателей иногда осуществляют методом противовключения, изменив направление вращения магнитного поля статора относительно направления вращения ротора. Для этого, как и при реверсировании, изменяют порядок чередования фаз на ходу двигателя. Так как ротор по инерции будет продолжать вращаться в прежнем направлении, то скольжение становится большим единицы:

$$s = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} > 1.$$

Поскольку электромагнитный момент, создаваемый вращающимся полем статора, направлен против направления вращения ротора, то он является тормозящим по отношению к ротору, и ротор вследствие этого очень быстро останавливается. Если обмотку статора не отключить своевременно от сети, то ротор начнет вращаться в противоположном направлении.

Если скольжение становится больше единицы, а электрические потери в роторе $P_{\text{м.рот}} = sP_{\text{эм}}$, то при торможении электрические потери будут больше электромагнитной мощности. Часть мощности, расходуемой на потери в меди ротора при торможении, является электромагнитной, передаваемой через магнитное поле от статора к ротору, а часть этих потерь покрывается за счет механической мощности вращающихся по инерции частей двигателя и рабочей машины.

В режиме торможения противовключением при переключении проводов обмотки статора наблюдаются большие броски тока.

Пример 2. Найти сопротивление фазы регулирующего реостата для трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором, чтобы снизить скорость его вращения с 720 до 600 об/мин при номинальном моменте M_n , если $2p = 8$, а сопротивление фазы ротора $r_{\text{рот}} = 0,018 \text{ Ом}$.

Решение. Сопротивления реостата определяют из соотношения

$$\frac{r_{\text{реост}} + r_{\text{рот}}}{s} = \frac{r_{\text{рот}}}{s_n}, \quad (164)$$

где s — скольжение ротора после включения реостата;

s_n — скольжение ротора при номинальном вращающем моменте, без реостата в цепи ротора.

Синхронное число оборотов

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ об/мин.}$$

Номинальное скольжение

$$s_n = \frac{n_1 - n_{2n}}{n_1} = \frac{750 - 720}{750} = 0,04.$$

Скольжение после включения реостата

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{750 - 600}{750} = 0,2.$$

Из формулы (164) находим, что

$$r_{\text{реост}} = r_{\text{рот}} \left(\frac{s}{s_n} - 1 \right) = 0,018 \left(\frac{0,2}{0,04} - 1 \right) = 0,072 \text{ Ом.}$$

Изменение направления вращения и торможение асинхронных двигателей

Чем определяется направление вращения вращающегося магнитного поля?	Расположением катушек на статоре	1553
	Порядком следования фаз	1827
Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?	Изменить полярность напряжения питания	1439
	Изменить порядок следования фаз	1699
При торможении асинхронного двигателя методом противовключения скольжение	отрицательное	15
	большие единицы	10
Как практически осуществляют торможение асинхронного двигателя методом противовключения?	Меняют полярность напряжения питания	1464
	Меняют местами два любых провода из трех, идущих к обмотке статора	1876
	Резко снижают величину питающего напряжения	1480
Укажите основной недостаток метода торможения противовключением	Большие броски тока	1889
	Большое время торможения	1604

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование асинхронных двигателей

Цель работы. Изучить способы пуска в ход, регулирования скорости, методику проведения опытов холостого хода и короткого замыкания асинхронных двигателей.

П л а н р а б о т ы. 1. Ознакомиться с устройством асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, записать данные заводских щитков.

2. Пустить в ход асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором прямым включением в сеть и переключением обмотки статора со звезды на треугольник. Изменить направление вращения двигателя, затормозить асинхронный двигатель противовключением.

3. Пустить в ход асинхронный двигатель с фазным ротором, регулировать его скорость реостатом в цепи фазного ротора.

4. Пустить в ход двухскоростной асинхронный двигатель.

5. Подобрать приборы, составить схему и провести опыты холостого хода и короткого замыкания асинхронного двигателя.

П о я с н е н и я к р а б о т е. Перед пуском двигателя в ход проверяют соответствие схемы обмотки статора напряжению сети (например, обмотки статора двигателя на напряжение 380/220 В должны быть соединены в звезду при линейном напряжении сети 380 В и в треугольник при линейном напряжении сети 220 В).

Для прямого пуска двигателя замыкают рубильник *PI* (рис. 214,а). Чтобы измерить пусковой ток, в цепь обмотки статора включают амперметр, рассчитан-

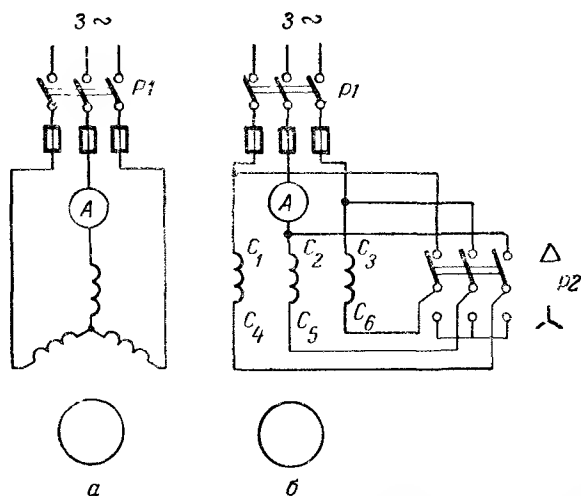


Рис. 214. Схемы пуска в ход асинхронных двигателей:
 а — прямым включением в сеть; б — переключением со звезды на треугольник.

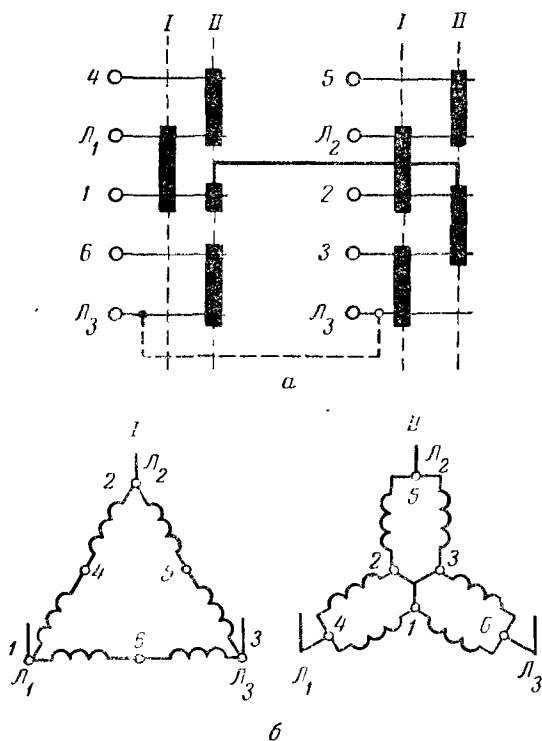


Рис. 215. Схема барабанного переключателя двухскоростного асинхронного двигателя:

а — принципиальная схема переключателя; б — схема соединений обмоток статора двигателя переключателем в положениях I и II.

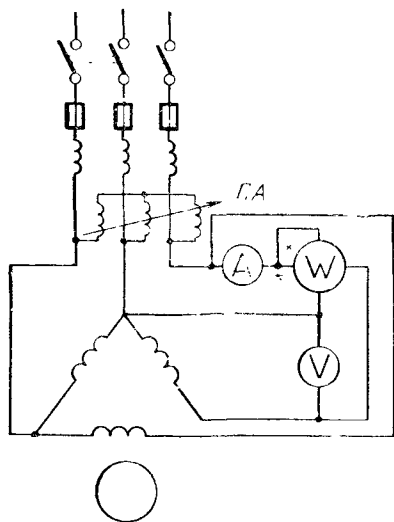


Рис. 216. Схема проведения опыта холостого хода и короткого замыкания асинхронного короткозамкнутого двигателя.

ный на семикратное значение номинального тока двигателя. Направление вращения ротора двигателя изменяют, меняя местами два любых провода, подводящих ток к статору. Для этой цели может быть применен реверсивный барабанный переключатель. Этим же переключателем тормозят асинхронный двигатель методом противовключения.

Если нормально обмотки статора двигателя соединены в треугольник, то можно пустить двигатель, переключив на звезду. Для наблюдения за пусковым током в цепь обмотки статора включают амперметр (рис. 214, б). Пуск осуществляют в такой последовательности. Переключатель $P2$ ставят в нейтральное положение, включают рубильник $P1$, затем ножки переключателя $P2$ переводят вниз, соединяя обмотки статора в звезду. После разгона двигателя ножки переключателя $P2$ перекидывают в верхнее положение, соединяя обмотку статора в рабочую схему — треугольник. Записывают показания амперметра в первом и во втором случаях, а затем пускают двигатель в ход при соединении его обмоток в треугольник и сравнивают значения пусковых токов.

Двигатель с фазным ротором пускают в ход по схеме, представленной на рисунке 209, а, включив в цепь обмотки статора амперметр (см. рис. 214).

Перед пуском нужно убедиться в том, что щетки опущены на кольца ротора и сопротивление пускового реостата полностью введено в цепь ротора, т. е. рукоятка реостата установлена против отметки «Пуск». После этого рубильником подают напряжение сети на обмотку статора, и ротор двигателя приходит в движение. По мере разгона ротора уменьшают сопротивление пускового реостата и, когда скорость ротора станет близка к номинальной, выводят сопротивление реостата полностью (рукоятку реостата устанавливают против отметки «Ход», щетки отсоединяются от колец, которые при этом замыкаются накоротко).

Для остановки двигателя щетки опускают на кольца, которые при этом отсоединяются друг от друга, но оказываются соединенными с пусковым реостатом. Затем постепенно увеличивают сопротивление пускового реостата, переводя его рукоятку в положение «Пуск», и отключают рубильником статор от сети.

Многоскоростные двигатели пускают в ход при помощи различных переключателей. Двухскоростной двигатель, например, пускают в ход переключателем БП1, принципиальная схема которого представлена на рисунке 215, а.

В нейтральном положении контакты барабана переключателя не касаются клемм. В положении I замкнуты контакты $A_1 - 1$, $A_2 - 2$ и $A_3 - 3$, соединяя обмотки статора в треугольник; в положении II замкнуты контакты $A_1 - 4$, $A_2 - 5$, $A_3 - 6$ и контакты $1-2$, 3 , соединяя обмотки статора в двойную звезду (рис. 215, б).

Для проведения опыта холостого хода собирают схему, показанную на рисунке 216. Поскольку обычно в лабораторных применяют линейное напряжение 220 В, обмотки статора двигателя соединяют в треугольник, а измерительные приборы включают только в одну фазу, так как в трехфазном асинхронном двигателе нагрузка фаз почти всегда симметрична.

Опыт холостого хода проводят при подведенном к обмоткам статора номинальном напряжении, а ротор двигателя вращается вхолостую (фазный же ротор разомкнут).

Чтобы уменьшить пусковой ток, двигатель пускают при пониженном напряжении через поворотный автотрансформатор.

Для опыта короткого замыкания применяют ту же схему: ротор затормаживают (фазный ротор закорачивают), подводимое к статору напряжение понижают поворотным автотрансформатором до такой величины, чтобы ток короткого замыкания был равен номинальному току статора.

Глава XXVIII

АСИНХРОННЫЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ДВИГАТЕЛИ С УЛУЧШЕННЫМИ ПУСКОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

§ 1. Двигатель с двойной беличьей клеткой

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором очень просты по конструкции и надежны в эксплуатации, однако значительные пусковые токи и малые пусковые моменты следует отнести к их серьезным недостаткам.

Для улучшения пусковых свойств в конструкцию ротора асинхронного двигателя были внесены некоторые изменения. Так, были предложены двигатели, обмотка ротора которых выполнена в виде двойной беличьей клетки, и двигатели с глубоким пазом.

Двигатели с двойной беличьей клеткой изготовляют обычно средних и больших мощностей, а с глубоким пазом даже небольших мощностей (2—3 кВт).

На рисунке 217, а схематически показана конструкция ротора с двойной беличьей клеткой. Наружная беличья клетка 1 обладает большим активным сопротивлением, так как ее изготовляют из материалов с повышенным активным сопротивлением (марганцовистая бронза или латунь) и стержни делают небольшого сечения, а внутренняя клетка 2, выполненная из медных стержней большого сечения, — значительно меньшим активным сопротивлением. Индуктивное сопротивление наружной беличьей клетки 1 очень мало, по-

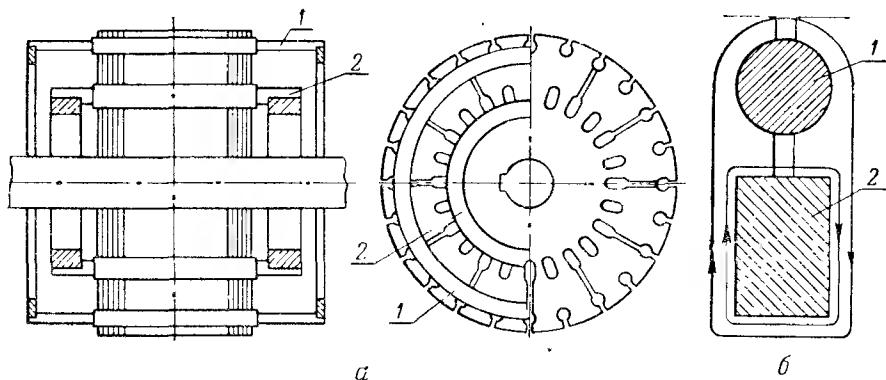


Рис. 217. Ротор двигателя с двойной беличьей клеткой:

а — общий вид ротора; б — паз ротора; 1 — пусковая клетка; 2 — рабочая клетка.

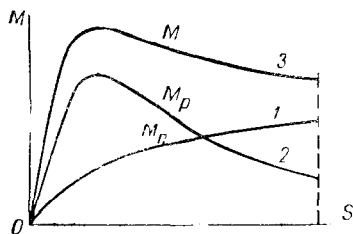


Рис. 218. Кривые зависимости вращающих моментов от скольжения двигателя с двойной беличьей клеткой.

сколько она расположена близко к поверхности ротора и охватывается малым количеством магнитных силовых линий, а индуктивное сопротивление внутренней клетки 2 велико, потому что ее пронизывает большое количество магнитных силовых линий (рис. 217, б). Щель между клетками делается для того, чтобы магнитные силовые линии, образующиеся вокруг проводов клетки 1, охватывали клетку 2, так как им легче пройти по стали вокруг клетки 2, чем по воздуху через щель между клетками.

Это способствует еще большему увеличению индуктивного сопротивления второй клетки.

В момент пуска двигателя, когда $s = 1$, частота тока ротора равна частоте сети, а индуктивное сопротивление ротора наибольшее, поскольку оно зависит от частоты. Наружная клетка в силу малого индуктивного сопротивления и большого активного создаст основной пусковой момент, поэтому ее называют пусковой. Хотя по ней проходит небольшой по величине ток, но поскольку $M = C_m \Phi_m I_2 \cos \psi_2$, а активная составляющая тока большая, то пусковой момент будет значительным.

По мере разгона двигателя скольжение уменьшается, и частота тока в роторе также снижается. Вследствие этого уменьшается и индуктивное сопротивление ротора, которое при достижении ротором двигателя номинальной скорости будет очень мало, потому что частота тока в роторе равна 2—3 Гц. Значит, в рабочем режиме большая часть тока будет проходить по внутренней клетке, имеющей малое активное сопротивление. Эту клетку называют рабочей.

Вращающий момент M двигателя равен сумме моментов пусковой и рабочей клеток: $M = M_n + M_p$ (рис. 218).

КАРТОЧКА № 115 (193)

Двигатель с двойной беличьей клеткой

Какая клетка имеет большее активное сопротивление?	Пусковая	1745
	Рабочая	1501
	Клетки имеют примерно одинаковое активное сопротивление	1903
Какая клетка имеет большее индуктивное сопротивление?	Пусковая	1625
	Рабочая	1757
	Клетки имеют примерно одинаковое индуктивное сопротивление	1386

Как изменяется индуктивное сопротивление пусковой и рабочей клеток по мере увеличения скорости вращения ротора асинхронного двигателя?	Уменьшается	1516
	Увеличивается	1788
	Не меняется	1638
	У рабочей клетки уменьшается, у пусковой увеличивается	1651
В какой клетке протекает наибольший ток в момент пуска двигателя?	В рабочей	1400
	В пусковой	1772
	Ток распределяется между пусковой и рабочей клетками примерно одинаково	1425
В какой клетке протекает наибольший ток при номинальной скорости вращения ротора асинхронного двигателя?	В рабочей	1803
	В пусковой	1529
	Ток распределяется между пусковой и рабочей клетками примерно одинаково	1675

§ 2. Двигатель с глубоким пазом

В двигателе этого типа пазы ротора по сравнению с обычной конструкцией делают более глубокими и в них закладывают стержни в виде тонких и высоких полос или заливают алюминиевый сплав.

На рисунке 219, а показано распределение магнитного потока рассеяния вокруг стержня. Нижняя часть стержня охватывается большим числом магнитных силовых линий, чем верхняя, вследствие чего индуктивное сопротивление нижней части стержня, обусловленное величиной магнитного потока рассеяния, значительно больше, чем верхней.

В начальный момент пуска двигателя, когда ротор еще неподвижен, частота тока в роторе равна частоте сети и, следовательно, индуктивное сопротивление ротора будет максимальным.

В процессе пуска ток из нижней части стержня, обладающей большим индуктивным сопротивлением, вытесняется в верхнюю, сопротивление которой сравнительно мало (рис. 219, б). Вследствие этого как бы уменьшается сечение стержня и увеличивается его активное сопротивление. Возрастание активного сопротивления стержней приводит к увеличению пускового момента и уменьшению пускового тока.

В рабочем режиме частота тока в роторе невелика (2—3 Гц) и индуктивное сопротивление стержней, зависящее от частоты, незна-

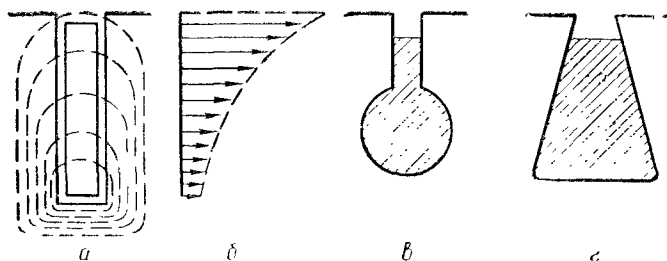


Рис. 219. Формы пазов ротора двигателей с улучшенными пусковыми свойствами:

а — глубокий паз; *б* — распределение тока в пазу при пуске двигателя в ход; *в* — колбовидный паз; *г* — клиновидный паз.

чительно. Поэтому ток распределяется равномерно по всему стержню, а двигатель работает как обычный короткозамкнутый.

Кроме глубокопазных, к числу двигателей с вытеснением тока в обмотке ротора при пуске относятся двигатели с колбовидной и клиновидной формой пазов (рис. 219, *в*, *г*). Утолщение нижней части стержней усиливает эффект изменения сопротивлений стержней при вытеснении тока по сравнению с тем же явлением в глубокопазном двигателе.

По пусковым свойствам эти двигатели приближаются к двигателям с двойной беличьей клеткой, но технология изготовления их проще.

К недостаткам двигателей с улучшенными пусковыми свойствами относятся более низкие значения η , $\cos \varphi$, меньшая перегрузочная способность и сравнительно высокая стоимость.

Ниже приведена сравнительная оценка пусковых свойств этих двигателей.

Двигатель.	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$
обычный короткозамкнутый	4,5—8,0	0,9—1,7
с двойной беличьей клеткой	3,0—5,5	1,0—3,0
с глубоким пазом	3,5—5,0	1,2—1,6

Следует отметить, что во всех короткозамкнутых асинхронных двигателях мощностью свыше 0,6 кВт используется явление вытеснения тока в обмотке ротора.

КАРТОЧКА № 116 (309)

Двигатель с глубоким пазом

Как изменяется активное сопротивление проводника при уменьшении площади его поперечного сечения?	Уменьшается	1554
	Не изменяется	1828
	Увеличивается	1440

Как изменяется пусковой момент асинхронного двигателя при увеличении активного сопротивления обмотки ротора?	Уменьшается	1700
	Не изменяется	1568
	Увеличивается	1853
Какую величину имеют при пуске а) индуктивное сопротивление; б) плотность тока в шихней части стержня белочей клетки, уложенного в глубокий паз?	а) большую; б) небольшую	1593
	а) небольшую; б) большую	1723
Если ротор асинхронного двигателя вращается с номинальной скоростью, то	плотность тока в верхней части стержней белочей клетки максимальна	1465
	плотность тока в стержнях белочей клетки по глубине паза примерно одинакова	1877
	плотность тока в нижней части стержней белочей клетки максимальна	1481
Укажите а) основной недостаток; б) основное достоинство двигателей с двумя короткозамкнутыми обмотками и с глубоким пазом	а) низкий к. п. д.; б) высокий $\cos \varphi$	1890
	а) низкий $\cos \varphi$; б) высокий к. п. д.	1605
	а) низкие к. п. д. и $\cos \varphi$; б) малый пусковой ток, большой пусковой момент	1746
	а) большой пусковой ток; б) высокий к. п. д.	1502

Глава XXIX

ИНДУКЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ И ФАЗОРЕГУЛЯТОРЫ

§ 1. Трехфазный индукционный регулятор

Индукционный регулятор в принципе представляет собой заторможенный асинхронный двигатель с фазным ротором. По обмотке статора проходит ток нагрузки, а обмотку ротора, который можно поворачивать при помощи червячной передачи, подключают к сети (рис. 220, а).

В трехфазной обмотке ротора протекает трехфазный переменный ток, создающий вращающийся магнитный поток Φ , который, пересекая витки обмоток статора и ротора, индуцирует в них соответственно э. д. с. E_1 и E_2 .

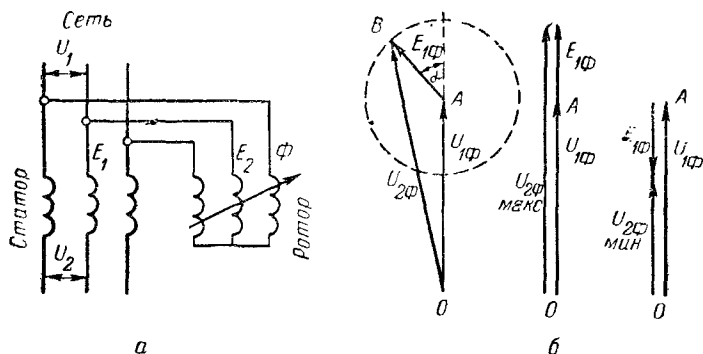


Рис. 220. Трехфазный индукционный регулятор:
а — схема; б — векторные диаграммы напряжений.

Фазное напряжение $U_{2\phi}$ на выходе индукционного регулятора равно геометрической сумме напряжений $U_{1\phi}$ сети и э. д. с. $E_{1\phi}$ статора (рис. 220,б):

$$U_{2\phi} = \bar{U}_{1\phi} + \bar{E}_{1\phi}. \quad (165)$$

Поскольку все три фазы находятся в одинаковых условиях, то для упрощения вычертим векторную диаграмму напряжений только для одной фазы.

Если оси обмоток совпадают в пространстве, то вращающийся магнитный поток Φ одновременно набегаает на обмотки статора и ротора и индуцирует в них э. д. с., совпадающие по фазе, т. е. направленные в одну сторону. Тогда напряжение $U_{2\phi}$ на выходе будет равно максимальному значению $U_{2\phi \text{ макс}}$.

Повернув ротор на 180 электрических градусов, получим минимальное значение напряжения $U_{2\phi \text{ мин}}$ на выходе. При повороте ротора на угол α электрических градусов напряжение $U_{2\phi}$ на выходе равно геометрической сумме векторов $OA = U_{1\phi}$ и $AB = E_{1\phi}$. Геометрическим местом концов векторов э. д. с. $E_{1\phi}$ и напряжения $U_{2\phi}$ является окружность, описанная из центра A радиусом AB .

Ротор поворачивают при помощи червячной передачи потому, что при работе индукционного регулятора к ротору приложен большой вращающий момент, а червячная передача служит и для поворота и для торможения ротора.

Поскольку вектор напряжения $U_{2\phi}$ на выходе сдвигается по фазе относительно вектора напряжения $U_{1\phi}$ сети, индукционный регулятор не может работать параллельно с трансформатором.

График изменения фазного напряжения на выходе индукционного регулятора в зависимости от угла α представлен на рисунке 221.

Индукционные регуляторы применяют в сетях для регулирования напряжения под нагрузкой, в лабораториях и в схемах автоматики.

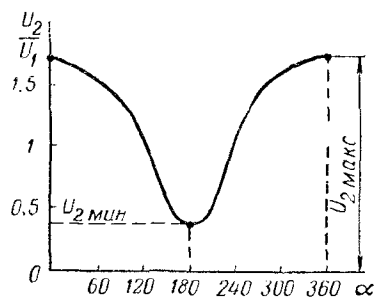


Рис. 221. График изменения фазного напряжения на выходе трехфазного индукционного регулятора в зависимости от угла α поворота ротора.

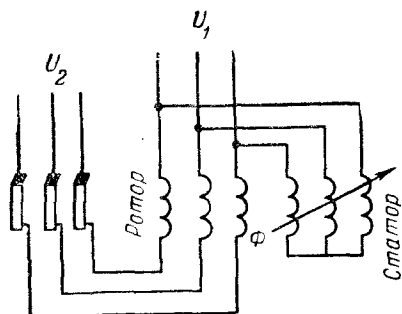


Рис. 222. Схема трехфазного индукционного регулятора, изготовленного из трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.

В практических условиях индукционные регуляторы весьма часто изготовляют из асинхронных двигателей с фазным ротором. Схема такого индукционного регулятора показана на рисунке 222. Здесь обмотка ротора через кольца присоединена к нагрузке, а обмотка статора — к сети.

КАРТОЧКА № 117 (156)

Трехфазный индукционный регулятор

При работе трехфазного асинхронного двигателя в режиме индукционного регулятора	ротор асинхронного двигателя вращается с синхронной скоростью	1904
	ротор неподвижен, но магнитное поле ротора вращается с синхронной скоростью	1626
Напряжение на выходе трехфазного индукционного регулятора равно	сумме напряжения сети и э. д. с. ротора	1758
	сумме напряжения сети и э. д. с. статора	1387
	векторной сумме напряжения сети и э. д. с. статора	1517
Вращающийся магнитный поток наводит в обмотке статора трехфазного индукционного регулятора э. д. с. 100 В.	100 В	1789
В каких пределах изменяется напряжение на выходе регулятора при повороте ротора на 80 электрических градусов?	200 В	1639

Можно ли включить на параллельную работу трехфазный трансформатор и трехфазный индукционный регулятор?	Можно	1652
	Нельзя	1401
Используются ли индукционные регуляторы для регулирования напряжения сети а) 220 В; б) 10 кВ?	Да	1773
	Нет	1426
	а) да; б) нет	1804

§ 2. Однофазный индукционный регулятор

Однофазные индукционные регуляторы используются реже, чем трехфазные.

Однофазный индукционный регулятор представляет собой заторможенный асинхронный двигатель, работающий в режиме регулируемого поворотного автотрансформатора.

Однофазную обмотку статора подключают к сети, а однофазную обмотку ротора, которую можно поворачивать относительно обмотки статора при помощи червячной передачи, — к нагрузке (рис. 223, а).

В обмотке статора создается пульсирующий магнитный поток Φ_1 , который пронизывает и обмотку ротора. При повороте ротора изменяется величина магнитного потока Φ_2 , пронизывающего его обмотку, пропорционально $\cos \Theta$:

$$\Phi_2 = \Phi_1 \cos \Theta. \quad (166)$$

Величина напряжения U_2 на выходе однофазного индукционного регулятора равна сумме напряжения сети U_1 и э. д. с. E_2 , индукци-

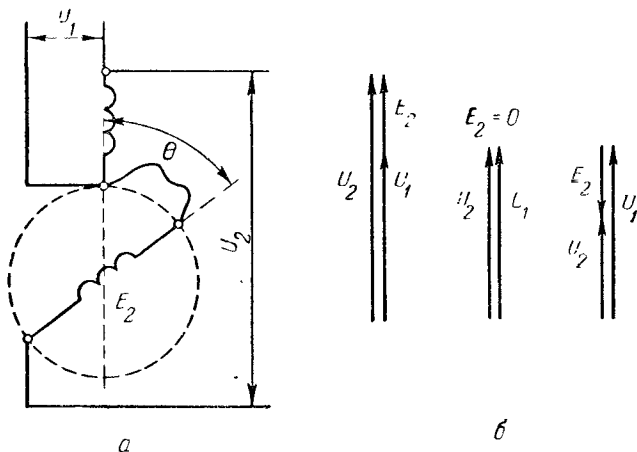


Рис. 223. Однофазный индукционный регулятор:
а — схема; б — векторные диаграммы напряжений.

руемой в обмотке ротора (рис. 223,б):

$$U_2 = U_1 \pm E_2. \quad (167)$$

Поскольку э. д. с. E_2 зависит от величины магнитного потока Φ_2 , пронизывающего обмотку ротора, то напряжение на выходе изменяется от максимального значения $U_{2\text{макс}}$, когда угол $\Theta = 0^\circ$, до минимального, когда угол $\Theta = 180^\circ$. При угле $\Theta = 90^\circ$ напряжение U_2 на выходе равно напряжению U_1 сети, так как $\cos 90^\circ = 0$. В однофазном индукционном регуляторе при повороте ротора изменяется величина э. д. с. E_2 , а вектор э. д. с. E_2 при угле $\Theta > 90^\circ$ сдвигается по фазе относительно вектора напряжения сети на угол 180° .

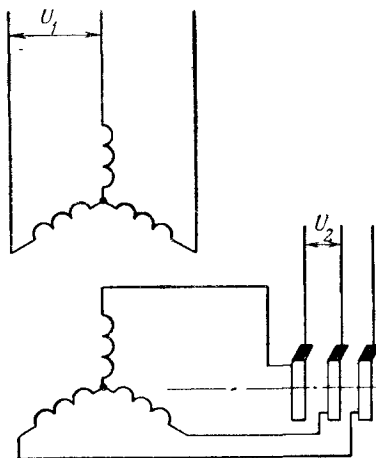


Рис. 224. Схема фазорегулятора.

§ 3. Фазорегулятор

Фазорегулятор в принципе представляет собой асинхронную трехфазную машину с заторможенным ротором, но в отличие от индукционного регулятора обмотки его статора и ротора электрически между собой не соединены (рис. 224).

К обмотке статора подводят напряжение U_1 сети, а с колец обмотки ротора снимают напряжение U_2 .

При повороте ротора изменяется только фаза вторичного напряжения U_2 , а его значение все время остается неизменным.

Фазорегуляторы применяют в автоматике и в измерительной технике (например, в стендах для проверки электрических счетчиков).

КАРТОЧКА № 118 (290)

Однофазный индукционный регулятор. Фазорегулятор

При работе однофазного асинхронного двигателя в режиме индукционного регулятора	ротор неподвижен, но магнитное поле ротора вращается с синхронной скоростью	1530
	ротор неподвижен, магнитное поле пульсирует вдоль оси ротора	1676
	ротор неподвижен, магнитное поле пульсирует вдоль оси статора	1555
Напряжение на выходе однофазного индукционного регулятора равно	сумме напряжения сети и э. д. с. ротора	1829
	сумме напряжения сети и э. д. с. статора	1441

Максимальное значение э. д. с., индуцируемой в обмотке ротора однофазного индукционного регулятора, равно 100 В. В каких пределах изменяется напряжение на выходе регулятора при повороте ротора на 180°?	50 В	1854
	200 В	1594
Можно ли включить на параллельную работу однофазный трансформатор и однофазный индукционный регулятор?	Можно	1724
	Нельзя	1466
Как изменяются а) начальная фаза и б) величина напряжения на выходе фазорегулятора в зависимости от угла поворота ротора?	Не изменяются	1759
	а) пропорционально углу поворота ротора; б) не изменяется	1388
	а) не изменяется; б) пропорционально углу поворота ротора	1518

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование индукционного регулятора

Цель работы. Исследовать работу индукционного регулятора.

План работы. 1. Ознакомиться с конструкцией индукционного регулятора, записать данные заводского щитка, подобрать измерительные приборы и составить схему.

2. Снять характеристику зависимости вторичного напряжения U_2 от угла α поворота ротора.

3. Построить векторную диаграмму для всех трех фаз при каком-либо значении угла α и характеристику зависимости $U_2 = f(\alpha)$.

Пояснение к работе. Поворачивают ротор индукционного регулятора до такого положения, чтобы напряжение на выходе было наименьшим, и включают рубильник PI (рис. 225). Затем, поворачивая ротор, убеждаются в том, что при любом его положении добавочное напряжение U_d не будет изменяться, так как э. д. с. в этой обмотке создается вращающимся магнитным полем статора. Измерения начинают с наименьшего напряжения $U_{2\min}$ и, постепенно

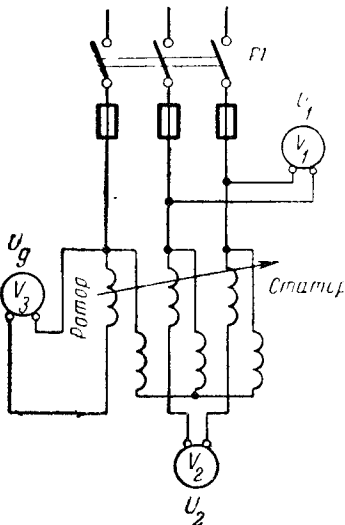


Рис. 225. Схема для исследования трехфазного индукционного регулятора.

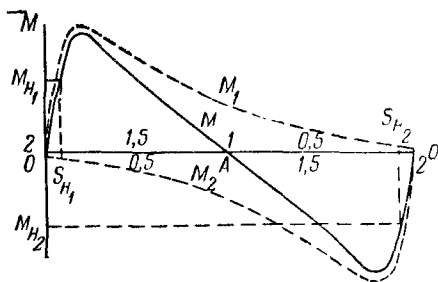


Рис. 227. Кривые вращающих моментов однофазного двигателя в зависимости от скольжения.

Если же при помощи внешней силы привести ротор в движение, то он будет вращаться и может быть нагружен.

Аналогичное явление наблюдается у трехфазных двигателей при обрыве одного из питающих проводов или перегорании предохранителя в одной из фаз работающего двигателя. В этом случае двигатель сохраняет способность совершать полезную работу, однако его мощность составляет уже 0,5—0,7 номинальной.

Поле Φ_1 , вращающееся в ту же сторону, что и ротор, называют прямым, а поле Φ_2 , вращающееся в сторону, противоположную вращению ротора, — обратным.

Скорость прямого поля Φ_1 относительно ротора равна разности скоростей поля и ротора:

$$n_1 - n_2 = n_1 - n_1(1 - s) = sn_1.$$

Прямое поле индуцирует в роторе ток частотой $f_2 = sf_1$, т. е. примерно 2—5 Гц.

Скорость обратного поля Φ_2 относительно ротора равна сумме скоростей поля и ротора:

$$n_1 + n_2 = n_1 + n_1(1 - s) = n_1(2 - s).$$

Обратное поле наводит в роторе ток частотой $f_2 = f_1(2 - s)$, т. е. примерно 95—98 Гц.

Ток, индуцируемый прямым полем, взаимодействуя с ним, создает значительный вращающий момент, так как активная составляющая этого тока вследствие малой частоты весьма велика.

Ток, индуцируемый обратным полем, при взаимодействии с ним создает небольшой вращающий момент, поскольку из-за почти двойной частоты активная составляющая этого тока мала.

Таким образом, результирующий момент M двигателя равен разности моментов $M = M_1 - M_2$ и направлен в сторону большего момента M_1 .

На рисунке 227 представлены графики зависимости вращающих моментов прямого M_1 и обратного M_2 полей и суммарного M от скольжения s .

При скольжении $s = 1$ вращающие моменты $M_1 = M_2$, а суммарный момент M равен нулю.

Если развернуть ротор, допустим, по направлению движения часовой стрелки, то прямое поле при скольжении $s_{н1}$ создаст боль-

шой вращающий момент M_{H1} , а обратное поле — очень малый по величине момент M_2 , который практически не сказывается на моменте M_1 . Если ротор двигателя развернуть в противоположную сторону, то двигатель при скольжении s_{H2} развивает вращающий момент M_{H2} обратного направления.

Чтобы развернуть ротор при пуске, применяют специальные устройства и меры (например, пусковую обмотку, расщепление магнитного потока полюсов и др.).

Пусковую обмотку B располагают на статоре и сдвигают на 90° относительно рабочей обмотки A . Токи в этих обмотках сдвинуты по фазе относительно друг друга на угол, близкий к 90° , для чего в цепь пусковой обмотки включают конденсатор C или активное сопротивление R (рис. 228, а). Иногда пусковую обмотку выполняют из малого количества витков провода небольшого сечения (рис. 228, б и в). Поскольку рабочая обмотка обладает значительным индуктивным сопротивлением, а пусковая — малым индуктивным и большим активным, то между токами создается сдвиг по фазе на некоторый угол β (рис. 228, г). Пусковая обмотка действует только в период пуска, а после разгона ротора сразу же выключается.

В некоторых двигателях пусковая и рабочая обмотки разделены на две части, что позволяет включать двигатель на разные напряжения — 127 или 220 В, соединяя обмотки параллельно (рис. 228, в) или последовательно (рис. 228, б).

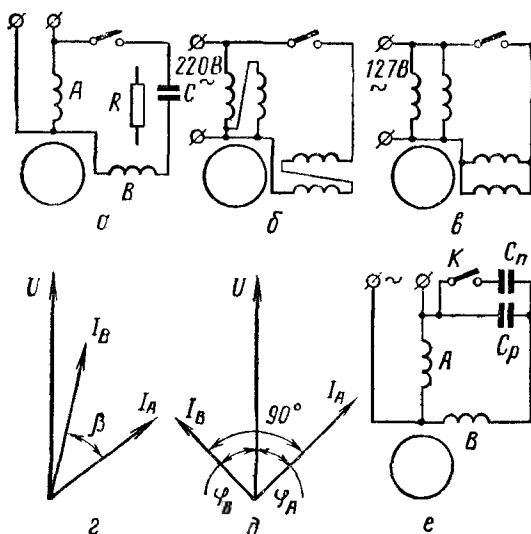


Рис. 228. Схемы пуска однофазных двигателей:

а — с конденсатором или активным сопротивлением в цепи пусковой обмотки; б — с малым индуктивным сопротивлением пусковой обмотки при напряжении 220 В; в — при напряжении 127 В; г — векторная диаграмма при включении в цепь пусковой обмотки активного сопротивления R ; д — векторная диаграмма при включении в цепь пусковой обмотки конденсатора; е — схема конденсаторного двигателя.

Для тех случаев, когда не требуется больших пусковых моментов, пусковую обмотку однофазных двигателей выполняют из провода небольшого сечения, вследствие чего она имеет повышенное активное сопротивление, причем для уменьшения ее индуктивного сопротивления часть ее выполнена бифилярно. В этом случае вращающееся магнитное поле получается не круговым, а эллиптическим, так как угол сдвига между токами в пусковой и рабочей обмотках менее 90° (рис. 228,з).

У однофазных двигателей, рассчитанных на тяжелые условия пуска в цепь пусковой обмотки, включают конденсатор C , емкостное сопротивление которого больше индуктивного сопротивления пусковой обмотки B , поэтому ток I_B опережает напряжение на угол φ_B , а сумма углов $\varphi_B + \varphi_A = 90^\circ$. В этом случае можно получить круговое вращающееся магнитное поле (рис. 228,б).

Имеются так называемые конденсаторные двигатели, которые работают, как двухфазные. У них обе обмотки, включенные в сеть во время работы, занимают одинаковое число пазов, и в цепь одной из них введен конденсатор C_p . В таких двигателях создается круговое, вращающееся магнитное поле при номинальной нагрузке двигателя. Для улучшения пусковых свойств таких двигателей на время пуска параллельно рабочему конденсатору C_p включается пусковой конденсатор C_n (рис. 228,е), который после запуска двигателя в ход отключается центробежным выключателем или пусковой кнопкой K .

Конденсаторным двигателям присущи лучшие рабочие и пусковые характеристики — высокий коэффициент мощности и большая перегрузочная способность.

Электромашиностроительные заводы нашей страны выпускают большое количество однофазных асинхронных двигателей. Основные из них с пусковой обмоткой повышенного сопротивления: АОЛБ — полезной мощностью до 400 Вт; ДАО, ДАОГ, МСМ, МА21/4 — для привода стиральных машин; ДХМ — для привода холодильников; конденсаторные двигатели: ДСЦМ и АВБ — для привода стиральных машин, ЭДГ, КД, АД и много других.

На доску зажимов выводят два конца рабочей и пусковой обмоток. Для отключения пусковой обмотки после пуска двигателя в ход у двигателей АОЛБ предусмотрен центробежный выключатель, а для отключения двигателя при перегрузке — температурно-токовое реле РТ-40.

Чтобы изменить направление вращения однофазного асинхронного двигателя, достаточно поменять местами концы пусковой или рабочей обмотки.

Согласно ГОСТ 493—66, выводы обмоток однофазных двигателей обозначают буквенно-цифровым шифром или определенным цветом:

Начала	Концы
Главная обмотка . . . С1 (красный)	С2 (красный с черным)
Пусковая обмотка . . . П1 (синий)	П2 (синий с черным)

Однофазные двигатели имеют невысокий к. п. д. ($\eta = 0,4 \div 0,7$), а также низкий коэффициент мощности ($\cos \varphi = 0,62 \div 0,72$). Пусковой ток этих двигателей в 6,5—9 раз больше номинального.

КАРТОЧКА № 119 (153)

Принцип действия однофазного асинхронного двигателя

Можно ли пульсирующее магнитное поле рассматривать как результат наложения двух магнитных полей, вращающихся с одинаковой скоростью в противоположные стороны?	Можно	1402
	Нельзя	1774
В магнитном поле, пульсирующем с частотой 50 Гц, вращается ротор асинхронного двигателя со скоростью 2850 об/мин. Определите скольжение а) относительно прямого и б) относительно обратного полей	а) 5%; б) 195%	1427
	а) 195%; б) 5%	1805
	5%	1531
Определите частоту тока, индуцируемого в роторе а) прямым; б) обратным полем для двигателя, рассмотренного выше	а) 2,5 Гц; б) 5 Гц	1677
	а) 5 Гц; б) 97,5 Гц	1556
	а) 2,5 Гц; б) 97,5 Гц	1830
Во сколько раз индуктивное сопротивление обмотки ротора для обратного тока больше, чем для прямого (в условиях предыдущего примера)?	в 20 раз	1442
	в 24 раза	1701
	в 39 раз	1569
Чему равен пусковой момент однофазного асинхронного двигателя, не имеющего пусковой обмотки?	Половине максимального момента	1855
	От половины до двух третей пускового момента аналогичного трехфазного двигателя	1595
	Нулю	1725

§ 2. Использование трехфазных двигателей в качестве однофазных

В производственных условиях трехфазный асинхронный двигатель иногда используют в качестве однофазного.

Фазосмещающим элементом может служить активное сопротивление или конденсатор.

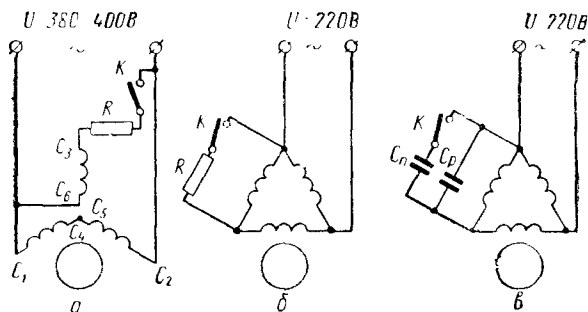


Рис. 229. Схемы пуска трехфазных двигателей в однофазном режиме.

Пусковое сопротивление R при соединении обмоток в звезду (рис. 229, а)

$$R = \frac{U_{\phi}}{k_i I_n} \text{ Ом,} \quad (168)$$

где U_{ϕ} — фазное напряжение, В;

k_i — кратность пускового тока в трехфазном режиме ($k_i = 4 \div 7$);

I_n — номинальный ток двигателя, А.

При соединении обмоток в треугольник пусковое сопротивление включают по схеме, показанной на рисунке 229, б. Значение пускового сопротивления в этом случае лучше всего подобрать опытным путем.

Пусковое сопротивление после окончания процесса пуска отключают кнопкой K .

Лучшие результаты дает применение в качестве фазосмещающего элемента конденсаторов. Широкое распространение получила схема, представленная на рисунке 229, в, поскольку здесь трехфазный асинхронный двигатель напряжением 380/220 В может быть использован как однофазный в сети напряжением 220 В.

Емкость рабочего конденсатора

$$C_p = 4800 \frac{I_n}{U_n} \text{ мкФ,} \quad (169)$$

где I_n — номинальный фазный ток двигателя, А;

U_n — номинальное фазное напряжение, В.

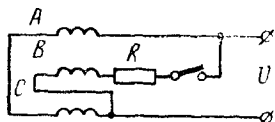
Емкость пускового конденсатора в 2,5 — 3 раза больше емкости рабочего.

При использовании трехфазного двигателя в качестве однофазного с отключением обмотки одной фазы можно получить около 0,6 номинальной мощности трехфазного двигателя, а при включении двигателя по схеме (рис. 229, в) — около 0,8 его номинальной мощности.

Использование трехфазных двигателей в качестве однофазных

Трехфазный двигатель 380/220 В включен как однофазный.

Укажите величину напряжения U , при котором двигатель будет развивать $2/3$ номинальной мощности



220 В

1467

380 В

1878

440 В

1482

Во время пуска в цепь обмотки B включено добавочное сопротивление R .

Как сдвинуты по фазе токи в обмотках A , B , C ?

Во всех трех обмотках токи совпадают по фазе

1891

В обмотках A и C токи совпадают по фазе, в обмотке B — отстает

1606

В обмотках A и C токи совпадают по фазе, в обмотке B — опережает

1747

Какое поле образуется в трехфазном двигателе, включенном по схеме, изображенной выше а) в момент пуска, когда обмотка B включена; б) в рабочем режиме, когда обмотка B выключена?

Пульсирующее

1503

Вращающееся

1905

а) пульсирующее; б) вращающееся

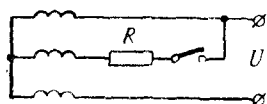
1627

а) вращающееся; б) пульсирующее

1760

Трехфазный двигатель 380/220 В включен, как показано на схеме.

Определите величину пускового сопротивления R , если $I_n = 25$ А, $k_t = 4$



2,2 Ом

1389

4,4 Ом

1519

Можно ли сопротивление R в схемах, изображенных выше, заменить конденсатором?

Можно

1790

Нельзя

1640

Хотя конденсаторы являются лучшими фазосмещающими элементами, но применение их ограничивается из-за больших габаритов и необходимой значительной емкости. На каждые 100 Вт мощности двигателя необходима рабочая емкость около 10 мкФ.

§ 3. Однофазный двигатель с расщепленными полюсами

В однофазных двигателях этого типа, изготавливаемых обычно на небольшие мощности, явно выраженные полюса расщеплены на две части, на одну из которых надевают короткозамкнутый виток (рис. 230, а).

По правилу Ленца индуцируемый в короткозамкнутом витке ток создает магнитное поле, противодействующее изменению магнитного потока Φ_1 , вследствие чего магнитные потоки сдвинуты на угол, близкий к 90° .

Рассмотрим принцип действия этого двигателя. На кривых (рис. 230, б), изображающих магнитные потоки в разных частях полюсов, отмечены положения I, II и III, каждому из которых соответствует часть рисунка, изображающая векторы магнитных потоков в разных частях полюсов.

В положении I магнитный поток Φ_1 равен нулю, а поток Φ_2 имеет максимальное значение. Поэтому по правой части полюса проходит магнитный поток Φ_2 , который является одновременно и результирующим магнитным потоком.

В положении II магнитные поля в обеих частях полюса одинаковы по величине и в сумме создают результирующий магнитный поток $\Phi_{рез}$.

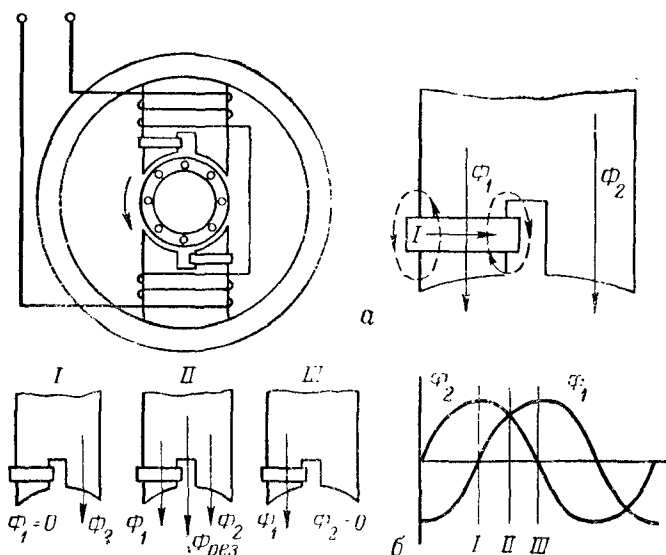


Рис. 230. Однофазный двигатель с расщепленными полюсами.

В положении III магнитный поток Φ_2 равен нулю, а Φ_1 имеет максимальное значение, он же и будет результирующим магнитным потоком.

Как видно из этих рисунков, результирующий магнитный поток $\Phi_{рез}$ перемещается справа налево, т. е. в электродвигателе образуется бегущее поле, которое, взаимодействуя с токами обмотки ротора, приводит ротор двигателя во вращение.

Ротор будет вращаться в направлении от незранированной части полюса к экранированной (в данном случае против часовой стрелки). Изменить направление вращения двигателя нельзя.

Для улучшения пусковых и рабочих характеристик у некоторых типов двигателей между наконечниками полюсов помещают магнитные шунты в виде выгнутых стальных пластин, что дает возможность увеличить магнитный поток экранированной части полюса.

Пусковой момент двигателя очень мал ($0,3 \div 0,6 M_{ном}$), $\cos \varphi$ низок ($0,4-0,6$), к. п. д. также мал ($25-40\%$).

Двигатели применяют в приводах, не требующих большого пускового момента (например, в настольных и оконных вентиляторах, стиральных машинах). Мощность их невелика, порядка десятков ватт, лишь двигатель СМ-7 имеет полезную мощность 130 Вт.

КАРТОЧКА № 121 (221)

Однофазный двигатель с расщепленными полюсами

Какое поле образуется в однофазном асинхронном двигателе с расщепленными полюсами?	Пульсирующее	1653
	Бегущее	1403
Пусковой момент однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами	равен нулю	1775
	не равен нулю	1428
Есть ли необходимость в специальной пусковой обмотке для однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами?	Да	1806
	Нет	1532
Как отключается пусковая обмотка у двигателей типа АОЛБ?	Специальным выключателем	1468
	Центробежным устройством	1879
Какой недостаток присущ однофазным асинхронным двигателям?	Низкий к. п. д.	1906
	Низкий $\cos \varphi$	1628
	Большой пусковой ток	1761
	Сложность реверсирования	1390

ОДНОФАЗНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

§ 1. Принцип действия однофазного коллекторного двигателя

Однофазный коллекторный двигатель переменного тока выполняется по схеме последовательного возбуждения и работает по тому же принципу, что и двигатель постоянного тока (рис. 231). Обмотку возбуждения *В* располагают на явно выраженных полюсах, якорь двигателя *Я* подобен якору машины постоянного тока.

КАРТОЧКА № 122 (254)

Принцип действия однофазного коллекторного двигателя

Что надо сделать, чтобы изменить направление вращения двигателя постоянного тока?	Изменить полярность напряжения сети, от которой питается двигатель	1520
	Изменить направление тока в обмотке якоря или направление тока в обмотке возбуждения	1791
Чем принципиально отличается магнитная система однофазного коллекторного двигателя от магнитной системы двигателя постоянного тока?	Материалом	1641
	Назначением	1654
	Размерами и массой	1404
	Тем, что набирается из отдельных листов	1776
Что надо сделать, чтобы исключить появление трансформаторной э. д. с. на щетках однофазного коллекторного двигателя?	Повернуть щетки относительно осей полюсов на 45°	1429
	Установить щетки на геометрической нейтральной	1807
	Включить дополнительную обмотку	1533
Как нельзя изменить направление вращения однофазного коллекторного двигателя?	Поменяв местами провода, подводящие ток к двигателю	1678
	Изменить направление тока в обмотке якоря	1557
	Изменить направление тока в обмотке возбуждения	1831
Однофазный коллекторный двигатель питается от сети переменного тока 50 Гц. Число полюсов $2p = 4$. Какова частота противо-э. д. с. двигателя?	0	1443
	50 Гц	1702
	100 Гц	1856

Магнитную систему двигателя набирают из отдельных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга.

Несмотря на периодические изменения направления переменного тока в обмотках двигателя, вращающий момент, развиваемый якорем, положителен, так как направление тока и магнитного потока изменяется одновременно и в обмотке возбуждения и в обмотке якоря.

Вращающий момент пульсирует с частотой $2f_1$, причем за действующее значение момента принимают его среднее значение, равное половине максимального момента.

Пульсирующий магнитный поток Φ наводит в обмотке якоря две э. д. с.: трансформаторную $E_{тр}$ и вращения $E_{вр}$.

Трансформаторная э. д. с. индуктируется в обмотке якоря, которую можно рассматривать как вторичную, вследствие того что она пронизывается пульсирующим магнитным потоком, создаваемым в обмотке возбуждения, как в первичной обмотке. Максимального значения трансформаторная э. д. с. достигла бы в том случае, если бы щетки располагались по оси полюсов (рис. 232, а). Если щетки стоят на геометрической нейтрали, то трансформаторная э. д. с. на щетках двигателя равна нулю, так как в каждой параллельной ветви обмотки якоря находится одинаковое число витков с противоположно направленными э. д. с., которые взаимно компенсируются (рис. 232, б). Поскольку наличие трансформаторной э. д. с. нарушает работу двигателя, щетки устанавливают на геометрической нейтрали, с тем чтобы трансформаторная э. д. с. была равна нулю.

При вращении якоря в магнитном поле Φ , создаваемом обмоткой возбуждения, в его обмотке индуктируется э. д. с. вращения, как

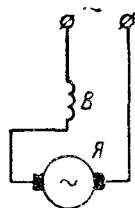


Рис. 231. Схема однофазного коллекторного двигателя.

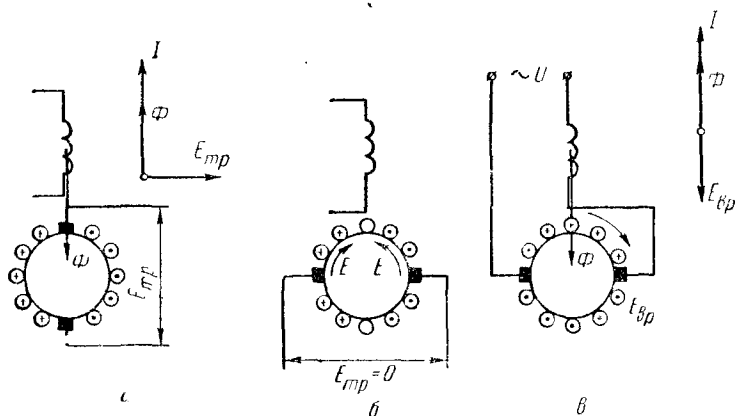


Рис. 232. Э. д. с. в обмотке якоря однофазного коллекторного двигателя.

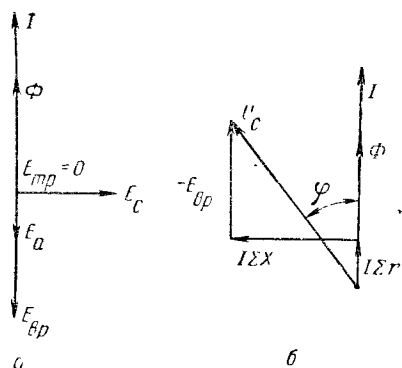


Рис. 233. Векторная диаграмма однофазного коллекторного двигателя.

и в якоре двигателя постоянного тока (рис. 232, в). Э. д. с. вращения находится в противофазе с током двигателя, поэтому ее называют противо-э. д. с. двигателя. Ее частота равна частоте сети.

§ 2. Векторная диаграмма однофазного коллекторного двигателя

Согласно уравнению равновесия э. д. с., приложенное к двигателю напряжение сети уравновешивается обратными э. д. с., индуцируемыми в нем.

Рассмотрим, какие обратные э. д. с. индуцируются в двигателе (рис. 233, а). Магнитный поток Φ , создаваемый током I в обмотке возбуждения, наводит в обмотке якоря обратную э. д. с. вращения $E_{\sigma p}$, которая находится в противофазе с током I . Кроме того, в обмотках двигателя создается э. д. с. самоиндукции E_c , вследствие того что они пронизываются переменным магнитным потоком Φ . Вектор э. д. с. самоиндукции отстает от вектора магнитного потока на 90° . Когда ток I проходит по активным сопротивлениям обмоток, в них возникает условная э. д. с. активного сопротивления E_a , вектор которой направлен против вектора тока I . Трансформаторная э. д. с. на щетках якоря равна нулю.

Вектор напряжения сети изобразим на векторной диаграмме (рис. 233, б) как результирующую трех составляющих, каждая из которых уравновешивает соответствующую обратную э. д. с.: — $E_{\sigma p}$ уравновешивает э. д. с. вращения $E_{\sigma p}$; $I \Sigma x$ — сумма падений напряжения на индуктивных сопротивлениях обмоток уравновешивает э. д. с. самоиндукции E_c и $I \Sigma r$ — сумма падений напряжения на активных сопротивлениях обмоток — э. д. с. активного сопротивления E_a :

$$U = -E_{\sigma p} + I \Sigma x + I \Sigma r. \quad (170)$$

Угол между векторами напряжения сети U и тока I обозначают через φ . Как видно из векторной диаграммы, при увеличении скорости двигателя э. д. с. вращения $E_{\sigma p}$ возрастает, вследствие чего угол φ уменьшается, что приводит к улучшению коэффициента мощности двигателя. Поскольку при большой скорости коэффициент мощности двигателя увеличивается, то коллекторные двигатели рассчитывают на высокие скорости вращения (8000—12 000 об/мин).

Векторная диаграмма однофазного коллекторного двигателя

Э. д. с. вращения и э. д. с. активного сопротивления обмоток якоря и возбуждения однофазного коллекторного двигателя	совпадают по фазе	1596
	находятся в противофазе	1726
	сдвинуты по фазе на угол 90°	1469
Э. д. с. самоиндукции и э. д. с. вращения однофазного коллекторного двигателя	совпадают по фазе	1880
	находятся в противофазе	1483
	сдвинуты по фазе на угол 90°	1892
Как изменяется коэффициент мощности однофазного коллекторного двигателя при увеличении частоты питающего напряжения?	Не изменяется	1607
	Увеличивается	1748
	Уменьшается	1504
Как изменяется коэффициент мощности однофазного коллекторного двигателя при увеличении скорости вращения якоря?	Не изменяется	1907
	Увеличивается	1629
	Уменьшается	1762
Как изменяется коэффициент мощности однофазного коллекторного двигателя при увеличении тока нагрузки?	Не изменяется	1391
	Увеличивается	1792
	Уменьшается	1642

§ 3. Универсальные коллекторные двигатели

Однофазные коллекторные двигатели небольших мощностей зачастую изготовляют для работы на постоянном и переменном токах и называют в этом случае универсальными (рис. 234). Универсальные коллекторные двигатели рассчитывают на мощности от 5 до нескольких сотен ватт. Применяют их для привода электрифицированного инструмента, вентиляторов, пылесосов, привода швейных машин и т. п.

Поскольку сопротивление обмоток двигателя переменному току больше, чем постоянному, то в обмотке возбуждения делают отпайку и при работе на постоянном токе включают всю об-

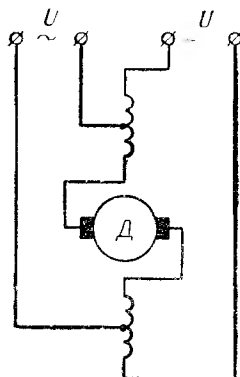


Рис. 234. Схема универсального коллекторного двигателя.

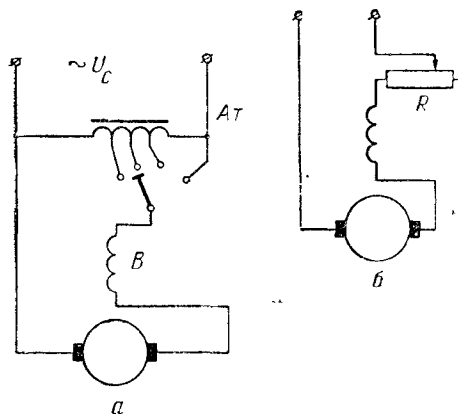


Рис. 235. Схема пуска в ход однофазных коллекторных двигателей:
 а — автотрансформатором; б — реостатом.

мотку возбуждения, а при работе на переменном токе — только часть ее. При этом как на переменном, так и на постоянном токе двигатель развивает почти одинаковый вращающий момент.

Для изменения направления вращения обычно изменяют направление тока в якоре.

Широкое применение в машинах бытового назначения нашли двигатели УВ, УДМ, М-4Д, ЭП, УД, ЗПС, Д2-03, ЭПП-1, ЭПМ-2, ЭПТ-2, УКМ, ЭДБ и другие.

§ 4. Пуск в ход и регулирование скорости коллекторных двигателей

Однофазные коллекторные двигатели небольших мощностей пускают в ход прямым включением в сеть. Двигатели больших мощностей пускают в ход, понижая автотрансформаторами АТ (рис. 235, а) напряжение сети. Скорость этих двигателей регулируют, изменяя подводимое от сети напряжение тем же автотрансформатором, а у двигателей небольшой мощности — реостатом *R*, как, например, у двигателей для привода швейных машин (рис. 235, б).

Кроме того, скорость однофазных коллекторных двигателей можно регулировать теми же способами, что и двигателей последовательного возбуждения постоянного тока (см. § 5 гл. VI).

КАРТОЧКА № 124 (243)

Универсальные коллекторные двигатели. Пуск в ход и регулирование скорости коллекторных двигателей

Однофазные коллекторные двигатели серии УЛ называют универсальными потому,	что они используются для привода различных приборов (вентиляторов, пылесосов, швейных машин)	1655
	что они могут питаться как от сети переменного, так и от сети постоянного тока	1405
В каком случае обмотка возбуждения универсальных коллекторных двигателей включается частично (через отпайки)?	При питании от сети постоянного тока	1777
	При питании от сети переменного тока	1430

Для регулирования скорости параллельно обмотке возбуждения коллекторного двигателя подключен реостат. Как изменяется скорость при увеличении сопротивления реостата?	Увеличивается	1793
	Уменьшается	1656
	Почти не изменяется	1778
Что произойдет, если отключить механическую нагрузку на валу коллекторного двигателя?	Скорость вращения уменьшится	1727
	Двигатель остановится	1470
	Двигатель пойдет «вразнос»	1831
Какой недостаток не свойствен однофазным коллекторным двигателям?	Большой пусковой ток	1893
	Тяжелые условия коммутации	1608
	Низкий к. п. д. и малый $\cos \varphi$	1679
	Малый пусковой момент	1471

К недостаткам однофазных коллекторных двигателей следует отнести тяжелые условия пуска и тяжелые условия коммутации, поскольку в короткозамкнутых коммутируемых секциях, кроме реактивной э. д. с., индуцируется еще и трансформаторная э. д. с., что приводит к сильному искрению под щетками.

Несмотря на эти недостатки, однофазные коллекторные двигатели часто применяются в быту и на производстве, так как они допускают регулирование скорости в широких пределах.

Однофазный коллекторный двигатель нельзя пускать в ход при малой нагрузке, потому что он может пойти «вразнос», как и двигатель постоянного тока последовательного возбуждения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение устройства и работы однофазных двигателей

Ц е л ь р а б о т ы. Изучить устройство, пуск в ход, реверсирование и работу однофазных асинхронных и коллекторных двигателей.

П л а н р а б о т ы. 1. Ознакомиться с устройством однофазных двигателей, записать данные заводских щитков.

2. Пустить в ход, изменить направление вращения однофазного асинхронного двигателя.

3. Пустить в ход, изменить направление вращения, отрегулировать скорость однофазного коллекторного двигателя последовательного возбуждения.

4. Пустить в ход трехфазный асинхронный двигатель в однофазном режиме, изменить направление его вращения.

5. Схемы и результаты опытов записать в отчет.

П о я с н е н и я к р а б о т е. Однофазные асинхронные двигатели пускают в ход прямым включением в сеть (рис. 236, а). Пусковую обмотку вклю-

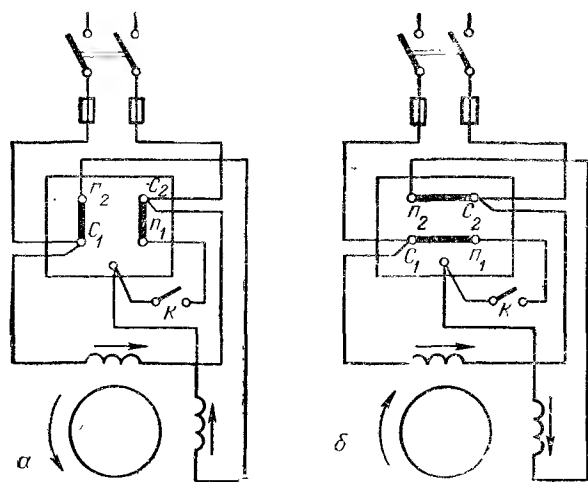


Рис. 236. Схема включения однофазного асинхронного двигателя.

чают вместе с рабочей на время пуска. При достижении ротором двигателя скорости, близкой к номинальной, пусковую обмотку отключают кнопкой K или рубильником, если в двигателе нет центробежного выключателя. Во избежание перегрева пусковой обмотки время ее включения в сеть не должно превышать 3 с. При соблюдении этого условия допускается осуществлять три пуска подряд, если двигатель находился в холодном состоянии, и один пуск, если двигатель уже нагрелся. Для изменения направления вращения ротора двигателя изменяют направление тока в пусковой обмотке, переставляя перемычки на доске зажимов, как это показано на рисунке 236, б.

Однофазные коллекторные двигатели небольшой мощности и универсальные двигатели пускают в ход также прямым включением в сеть (переменного или постоянного тока). Схема включения этих двигателей в сеть переменного и постоянного тока приведена на рисунке 234.

Для изменения направления вращения якоря необходимо изменить направление тока в якоре. Скорость вращения регулируют изменением подводимого к двигателю напряжения (см. рис. 235).

Значения пускового сопротивления или емкости конденсатора для пуска в ход трехфазного двигателя в однофазном режиме определяют по формулам (168) и (169), а пуск осуществляют по схемам, приведенным на рисунке 229.

Для изменения направления вращения необходимо изменить направление тока в рабочей или пусковой обмотке, подключенной к сети через активное сопротивление.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



Глава XXXII

ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР И ОДНОЯКОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

§ 1. Двигатель-генератор

Для преобразования переменного тока в постоянный (и наоборот) иногда используют вращающиеся преобразователи. Самым распространенным вращающимся преобразователем является двигатель-генератор, который обычно применяют для преобразования переменного тока в постоянный. В качестве двигателя служит синхронный или асинхронный двигатель АД (рис. 237), а в качестве генератора — машина постоянного тока ГПТ, валы которых (при совпадении скоростей вращения) соединяют муфтой. Электрических связей между собой двигатель и генератор не имеют.

Коэффициент полезного действия агрегата равен произведению к. п. д. двигателя и к. п. д. генератора:

$$\eta_{\text{агр}} = \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{ген}}, \quad (171)$$

поэтому к. п. д. двигатель-генератора относительно низок. К недостаткам двигатель-генераторов следует отнести также их высокую стоимость и значительные габариты. Однако эти недостатки во многом искупаются тем, что двигатель-генераторы предоставляют возможность широкого и плавного регулирования напряжения преобразуемого тока.

В ремонтных мастерских двигатель-генераторы иногда применяют в качестве агрегатов для зарядки аккумуляторов.

Пример 1. Определить к. п. д. двигатель-генератора, если к. п. д. двигателя $\eta_{\text{дв}} = 0,8$, а к. п. д. генератора $\eta_{\text{ген}} = 0,75$.

Решение. К. п. д. агрегата

$$\eta_{\text{агр}} = \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{дв}} = 0,75 \cdot 0,8 = 0,6.$$

§ 2. Одноякорный преобразователь

Одноякорным преобразователем называют электрическую машину, преобразую-

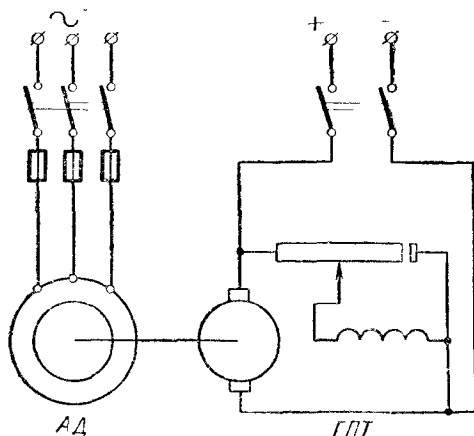


Рис. 237. Схема двигатель-генератора.

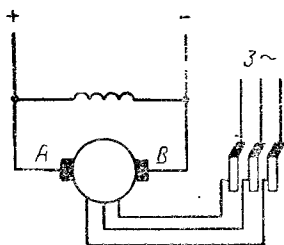


Рис. 238. Схема трехфазного одноякорного преобразователя.

щую в одном якоре переменный ток в постоянный или наоборот.

Одноякорный преобразователь по конструкции представляет собой машину постоянного тока, у которой на валу якоря установлены кольца со стороны, противоположной коллектору.

Кольца присоединены симметрично к обмотке якоря, например у трехфазных преобразователей в трех точках через 120° . Схема одноякорного преобразователя, обмотка переменного тока которого соединена треугольником, изображена на рисунке 238.

Если к щеткам A и B и обмотке возбуждения полюсов подвести постоянный ток, то преобразователь будет работать как двигатель постоянного тока, а на кольцах преобразователя возникнет переменное напряжение. Здесь электрическая энергия постоянного тока преобразуется в механическую, а механическая энергия — в электрическую энергию переменного тока. Если к кольцам подвести трехфазный переменный ток, а к обмотке возбуждения постоянный, то преобразователь будет работать как синхронный двигатель, а на щетках A и B возникнет постоянное напряжение.

Количество контактных колец преобразователя зависит от числа фаз преобразуемого переменного тока: для однофазного два кольца, для трехфазного — три, для шестифазного — шесть и т. д.

Соотношение напряжений переменного и постоянного тока определяют по формуле

$$U_{\phi\sim} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} U_{\pi} \quad (172)$$

где $U_{\phi\sim}$ — фазное напряжение переменного тока, В;

m — число фаз преобразователя (для однофазного преобразователя $m = 2$, для трехфазного $m = 3$ и т. д.);

U_{π} — напряжение постоянного тока, В.

Пример 2. Определить соотношение напряжений в трехфазном преобразователе.

Решение. Соотношение напряжений

$$U_{\phi\sim} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} U_{\pi} = \frac{\sin \frac{180^\circ}{3}}{\sqrt{2}} U_{\pi} = \frac{\frac{1}{2}}{\sqrt{2}} U_{\pi} = 0,613 U_{\pi}.$$

Соотношение токов в одноякорном преобразователе

$$I_{\phi\sim} = I_{\pi} \frac{\sqrt{2}}{m \sin \frac{\pi}{m}} \quad (173)$$

где $I_{\phi\sim}$ — фазный переменный ток, А;
 m — число фаз;
 $I_{п}$ — постоянный ток, А.

Пример 3. Определить соотношение токов в трехфазном преобразователе.
Решение. Определяем соотношение токов

$$I_{\phi\sim} \sim I_{п} \frac{\sqrt{2}}{m \sin \frac{\pi}{m}} = I_{п} \frac{\sqrt{2}}{3 \sin \frac{180^\circ}{3}} = I_{п} \frac{\sqrt{2}}{3 \frac{1}{2}} = 0,54 I_{п}.$$

Одноякорный преобразователь имеет более высокий к. п. д. и меньшие габариты, чем двигатель-генератор.

Одноякорный преобразователь можно пускать в ход со стороны постоянного тока. В этом случае его пускают как двигатель постоянного тока, снабжая энергией от какого-либо источника постоянного тока, синхронизируют с сетью и включают в сеть со стороны переменного тока как синхронный двигатель.

Чаще всего применяют асинхронный пуск преобразователя со стороны переменного тока, подобно тому как это делается для синхронного двигателя. В полюсные наконечники преобразователя уложена пусковая обмотка, которая неподвижна в пространстве, как и магнитное поле якоря, а сам якорь вращается относительно своего магнитного поля.

В одноякорном преобразователе напряжения постоянного и переменного тока жестко связаны между собой и соотношение между ними определяется формулой (172), поэтому регулировать напряжение преобразуемого тока можно только изменением напряжения на входе преобразователя. Для этой цели применяют автотрансформаторы, индукционные регуляторы или реактивные катушки, включенные перед кольцами преобразователя.

Рассмотрим способ регулирования напряжения на входе одноякорного преобразователя при помощи реактивных катушек (рис. 239, а). Регулирующим реостатом $R_{рег}$, введенным в цепь обмотки возбуждения преобразователя, изменяют ток возбуждения преобразователя.

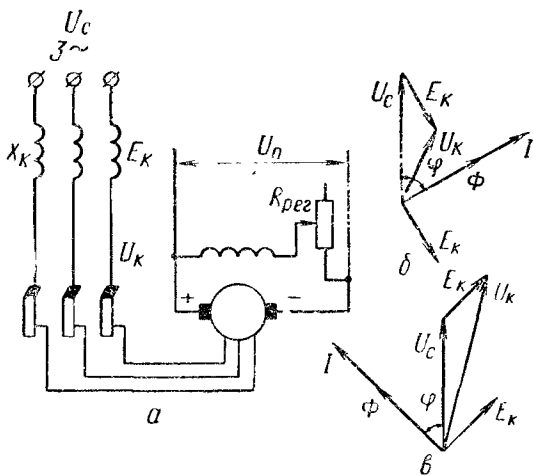


Рис. 239. Регулирование напряжения на входе одноякорного преобразователя реактивными катушками:

а — схема; б — векторная диаграмма при невозбуждении; в — векторная диаграмма при перевозбуждении преобразователя.

Если преобразователь недо возбужден, то в нем, как в синхронном двигателе, ток I отстает от напряжения U_c сети (рис. 239, б). Ток I , проходя по реактивным катушкам, создает магнитный поток Φ , который индуцирует в них э. д. с. E_K , отстающую от вектора магнитного потока Φ на 90° . В этом случае напряжение на кольцах преобразователя U равно геометрической сумме напряжений U_c сети и э. д. с. катушки E_K :

$$\vec{U}_K = U_c + E_K \quad (174)$$

Как видно из векторной диаграммы, при недо возбуждении преобразователя напряжение на кольцах преобразователя уменьшается.

В случае перевозбуждения преобразователя вектор тока I опережает вектор напряжения сети (рис. 239, в). В этом случае напряжение на кольцах преобразователя увеличивается, а вследствие этого повышается и напряжение преобразуемого постоянного тока.

К недостаткам одноякорного преобразователя следует отнести трудность регулирования напряжения и пуска его в ход, а к достоинствам — высокий к. п. д., малые габариты и стоимость.

В последнее время вращающиеся преобразователи вытесняются более простыми и экономичными полупроводниковыми, электронными и полными выпрямителями.

КАРТОЧКА № 125 (185)

Двигатель-генератор. Одноякорный преобразователь

Двигатель-генераторный агрегат состоит из трехфазного синхронного двигателя и генератора постоянного тока.	Можно	1728
	а) можно; б) нельзя	1609
	а) нельзя; б) можно	1857
Можно ли использовать этот преобразователь для преобразования а) постоянного тока в трехфазный; б) трехфазного в постоянный?	Надежность работы	1703
	Простота обслуживания	1570
	Возможность плавного регулирования в широких пределах выходных величин	1729
	Высокий к. п. д.	1610
Какое из указанных справа достоинств не характерно для двигатель-генераторного преобразователя?		

Отличительным признаком однокорного преобразователя является наличие у однокорной машины	коллектора	1730
	контактных колец	1611
	коллектора и контактных колец одновременно	1858
Можно ли использовать однокорный преобразователь для получения а) однофазного переменного тока; б) трехфазного тока?	Можно	1484
	а) можно; б) нельзя	1704
	а) нельзя; б) можно	1571
Однокорный преобразователь постоянного тока в трехфазный подключен к источнику постоянного напряжения 100 В. Определите фазное напряжение на выходе преобразователя	100 В	1485
	61,3 В	1705
	33,3 В	1572

Глава XXXIII

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

§ 1. Преобразовательные агрегаты частоты типа ПСЧ-5

Электромашиный преобразовательный агрегат частоты типа ПСЧ-5, схема которого приведена на рисунке 240, служит для преобразования электрической энергии переменного тока частотой 50 Гц в электрическую энергию переменного тока частотой 190—200 Гц.

Агрегат состоит из асинхронного электродвигателя и приводимого им в движение синхронного генератора повышенной частоты. Возбуждение синхронный генератор получает от селеновых выпрямителей, которые выпрямляют переменный ток, поступающий от вторичной обмотки специального трехобмоточного понижающего и стабилизирующего трансформатора. Первичная однофазная обмотка 1 трансформатора включена параллельно одной из фаз двигателя на фазное напряжение сети.

В первичной обмотке трансформатора имеются две серийные обмотки 2 и 3, которые включены в цепь нагрузки генератора. При возрастании нагрузки на генератор увеличивается ток в серийных обмотках 2 и 3 трансформатора, вследствие чего магнитный поток в сердечнике трансформатора, создаваемый этим током, повышается, что увеличивает э. д. с. во вторичной обмотке трансформатора и ток возбуждения в обмотке ротора генератора. Поскольку при повышении нагрузки ток возбуждения соответственно увеличится, то напряжение на зажимах генератора останется постоянным.

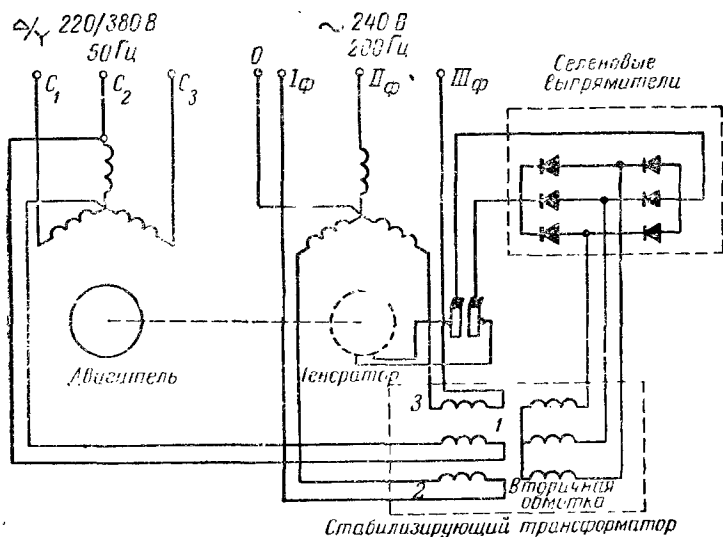


Рис. 240. Схема преобразовательного агрегата частоты типа ПСЧ 5.

Двигатель агрегата имеет одну пару полюсов, а ротор генератора — четыре пары, вследствие этого генератор вырабатывает ток частотой около 200 Гц. Так, если синхронное число оборотов генератора $n_1 = 3000$ об/мин, а число пар полюсов ротора генератора $p = 4$, то, подставив эти числа в формулу (104), получим

$$f_1 = \frac{3000 \cdot 4}{60} = 200 \text{ Гц.}$$

Стабилизирующий трансформатор снабжен магнитным шунтом, который перемещают относительно сердечника. Магнитный шунт служит для настройки стабилизации преобразователя на заводе.

Вследствие скольжения ротора асинхронного двигателя частота тока преобразователя при номинальной нагрузке равна 194 Гц. Мощность генератора 5 кВт, к. п. д. агрегата 67%.

Преобразователь предназначен для питания электродвигателей ручного инструмента.

Напряжение генератора при изменении нагрузки от холостого хода до номинального значения при $\cos \varphi = 0,75$ поддерживается автоматически равным 240 В с отклонением $\pm 8\%$, -5% U_n .

КАРТОЧКА № 126 (367)

Преобразовательные агрегаты частоты типа ПСЧ-5

Какой ток протекает по первичной обмотке / стабилизирующего трансформатора в агрегате ПСЧ-5?	Переменный с частотой 50 Гц	1573
	Переменный с частотой 200 Гц	1731
	Постоянный	1612

Какой ток протекает по серийным обмоткам стабилизирующего трансформатора?	Ток нагрузки синхронного генератора с частотой около 200 Гц	1859
	Ток, потребляемый агрегатом из сети, с частотой 50 Гц	1486
Как изменяется ток на выходе селеновых выпрямителей (ток возбуждения синхронного генератора) при увеличении нагрузки генератора?	Не изменяется	1706
	Увеличивается	1574
	Уменьшается	1732
Как изменяется частота напряжения синхронного генератора при увеличении скольжения асинхронного двигателя в агрегате ПСЧ-5?	Не изменяется	1613
	Увеличивается	1860
	Уменьшается	1487
Как изменяется напряжение синхронного генератора в агрегате ПСЧ-5 при увеличении нагрузки?	Увеличивается	1707
	Уменьшается	1575
	Практически не меняется	1574
	Это зависит от характера нагрузки	1614

§ 2. Асинхронный преобразователь частоты тока типа И-75

Преобразователь И-75, схема которого приведена на рисунке 241, а, предназначен для питания током повышенной частоты электропривода стригальных машинок для стрижки овец.

Преобразователь состоит из двухполюсного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и шестиполюсного асинхронного генератора (преобразователя) с фазным ротором. Роторы обеих машин расположены на одном валу, а статоры помещены в общем корпусе.

Обмотки статоров асинхронного двигателя и генератора питаются током частоты 50 Гц при напряжении 380/220 В. Схема включения обмоток статора выполнена таким образом, чтобы вращение магнитных полей двигателя и генератора было противоположным друг другу.

Потребителей присоединяют к фазной обмотке ротора генератора через кольца и щетки. Напряжение на кольцах генератора 36 В, частота тока 200 Гц.

Двигатель вращает ротор генератора против направления вращения магнитного поля его статора, вследствие чего в обмотке ро-

тора генератора наводится э. д. с. с частотой, определяемой по формуле

$$f_2 = f_1 s \quad \text{или} \quad f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_1}, \quad (175)$$

где f_2 — частота э. д. с. в роторе генератора, Гц;

f_1 — частота сети, Гц;

n_2 — скорость вращения ротора генератора, об/мин;

n_1 — скорость вращения магнитного поля статора генератора, об/мин.

При частоте сети 50 Гц скорость n_2 вращения ротора генератора, приводимого двухполюсным асинхронным двигателем, составляет 2800 об/мин. Пренебрегая скольжением ротора, примем скорость ротора генератора равной синхронной, т. е. 3000 об/мин. Скорость n_1 вращающегося магнитного поля статора генератора при шести полюсах равна 1000 об/мин. Тогда частота тока в роторе генератора

$$f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_1} = 50 \frac{3000 + 1000}{1000} = 200 \text{ Гц.}$$

Повышение частоты до 200 Гц дает возможность применить для привода стригальных машинок быстроходные электродвигатели ($n = 12\,000$ об/мин) напряжением 36 В, благодаря чему уменьшается масса машинки и повышается безопасность ее обслуживания.

Как показала практика, скользящий контакт кольца — щетки не удовлетворяет требованиям надежности, поскольку сила тока, проходящего через него, весьма велика (до 67 А). Во вновь предложенной конструкции преобразователя частоты тока И-75В ток низ-

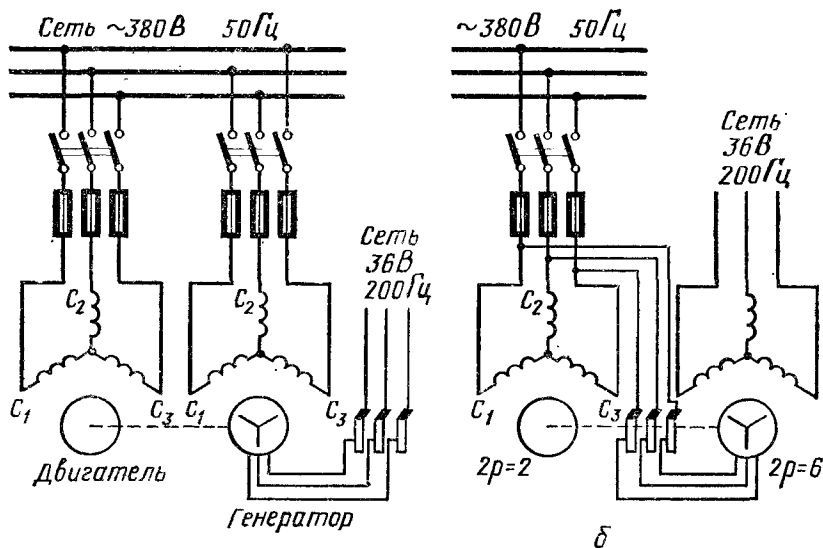


Рис. 241. Схемы асинхронного преобразователя частоты тока:
а — типа И-75; б — типа И-75В.

кого напряжения частотой 200 Гц снимается с обмотки статора, таким образом, скользящий контакт в цепи низкого напряжения устранен (рис. 241, б).

Фазный ротор шестиполусного асинхронного генератора приводится во вращение двухполюсным асинхронным двигателем. На кольца фазного ротора подается напряжение 380 В из сети. Трехфазный переменный ток индуцирует в трехфазной обмотке ротора вращающееся магнитное поле, скорость которого относительно ротора

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/мин.}$$

Поскольку сам ротор вращается в пространстве со скоростью $n_2 = 3000$ об/мин (без учета скольжения), то скорость вращения поля ротора в пространстве $n = n_1 + n_2 = 1000 + 3000 = 4000$ об/мин.

Магнитное поле ротора пересекает витки обмотки статора генератора, в которой индуцируется э. д. с. частотой

$$f_2 = \frac{pn}{60} = \frac{3 \cdot 4000}{60} = 200 \text{ Гц.}$$

Основные данные преобразователя частоты И-75В даны ниже:

напряжение, В:	
первичное	380/220
вторичное	36
мощность, кВт:	
потребляемая	5,8
отдаваемая	4,0
ток, А:	
потребляемый	10/17,3
отдаваемый	67

КАРТОЧКА № 127 (256)

Асинхронный преобразователь частоты тока типа И-75

Трехфазная обмотка статора двухполюсного асинхронного двигателя преобразователя И-75 питается от сети переменного тока 50 Гц. Определите скорость вращения магнитного поля статора	500 об/мин	1861
	1500 об/мин	1488
	3000 об/мин	1768
Трехфазная обмотка статора шестиполусного синхронного генератора преобразователя И-75 питается от сети переменного тока 50 Гц. Определите скорость вращения магнитного поля статора	500 об/мин	1577
	1000 об/мин	1735
	1500 об/мин	1616

Определите, с какой скоростью ротор генератора вращается относительно поля статора, если двигатель вращается с синхронной скоростью, а направления вращения ротора и поля противоположны?	3000 об/мин	1576
	4000 об/мин	1734
	Задача неопределенна	1615
Используя формулу $f = \frac{pn}{60}$, определите частоту э. д. с., индуцируемой в фазном роторе шестиполусного синхронного генератора преобразователя П-75	1000 Гц	1862
	200 Гц	1489
	4000 Гц	1709
С повышением частоты напряжения питания расчетная масса двигателя переменного тока	увеличивается	1863
	уменьшается	1490
	не изменяется	1710

§ 3. Синхронно-реактивный преобразователь частоты тока типа С-572

Синхронно-реактивный преобразователь частоты тока типа С-572, схема которого приведена на рисунке 242, а, предназначен для преобразования трехфазного переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380/220 В в переменный трехфазный ток частотой 200 Гц и напряжением 36 В.

Принцип действия преобразователя основан на выделении и использовании высших гармоник магнитного поля.

Преобразователь состоит из статора, вертикально расположенного ротора и подшипниковых щитов.

В пазах статора расположены две трехфазные обмотки: одна двухполусная — первичная — подключается к сети и служит для создания вращающегося магнитного поля в машине, другая восьмиполусная — вторичная — служит для получения тока повышенной частоты.

Магнитная система ротора имеет соответствующую форму и специально рассчитанную величину воздушного зазора, благодаря чему в кривой распределения магнитной индукции в воздушном зазоре выделяется нужная высшая гармоника, в данном случае четвертая. Выделенная высшая гармоника магнитного поля индуцирует во вторичной обмотке э. д. с. повышенной частоты (200 Гц).

На рисунке 242, б схематично изображен в разрезе ротор такого преобразователя. Заштрихованные части ротора изготовлены из магнитного материала, остальные — из немагнитного материала (алюминий, пластмасса). Для разгона ротора в его магнитную часть заложена пусковая обмотка в виде беличьей клетки, которая

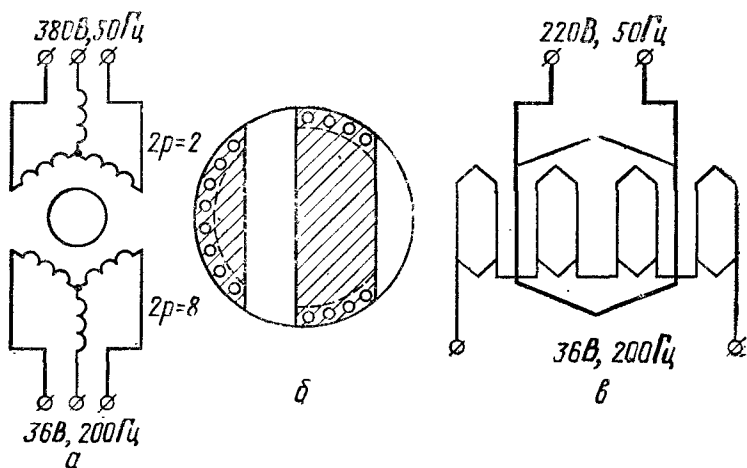


Рис. 242. Синхронно-реактивный преобразователь частоты:
а — схема; б — разрез ротора преобразователя; в — упрощенная схема одной фазы обмотки статора преобразователя.

изготавливается из алюминиевых стержней и колец. При достижении ротором асинхронной скорости он благодаря реактивному моменту втягивается в синхронизм. В рабочем режиме ротор вращается синхронно с вращающимся магнитным полем (как в реактивном синхронном двигателе), поэтому повышенная частота переменного тока остается постоянной.

Отдаваемая преобразователем мощность равна 4,2 кВт.

На рисунке 242, в изображена упрощенная схема одной фазы статора преобразователя. Как видно из схемы, число катушек во вторичной обмотке в 4 раза больше, чем в первичной, подключаемой к сети, что необходимо для того, чтобы выделяемая в воздушном зазоре четвертая гармоника магнитного поля индуктировала во вторичной обмотке э. д. с. частотой 200 Гц.

КАРТОЧКА № 128 (247)

Синхронно-реактивный преобразователь частоты тока типа С-572

Из преобразователя С-572 удален ротор. Первичная двухполюсная обмотка статора питается трехфазным током 50 Гц. Какую частоту имеет напряжение на зажимах вторичной (восьмиполюсной) обмотки статора?	50 Гц	1578
	200 Гц	1736
	В этом случае напряжение на зажимах вторичной обмотки равно нулю	1864
С какой скоростью будет вращаться ротор преобразователя С-572, если первичную обмотку статора питать трехфазным напряжением с частотой 100 Гц?	3000 об/мин	1491
	6000 об/мин	1711

Какую частоту будет иметь напряжение на выходе преобразователя С-572, если на вход подано трехфазное напряжение с частотой 100 Гц?	200 Гц	1579
	400 Гц	1865
Чем обеспечивается постоянство повышенной частоты синхронно-реактивного преобразователя типа С-572?	Постоянством частоты напряжения питания первичной обмотки	1866
	Постоянством скорости вращения ротора (независимо от величины нагрузки)	1492
	Двумя указанными выше условиями	1742
Определите к. п. д. синхронно-реактивного преобразователя типа С-572, если мощность, потребляемая из сети, равна 2 кВт	0,7	1580
	0,6	1581
	0,5	1582

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение устройства и исследование вращающихся преобразователей

Цель работы. Ознакомиться с устройством преобразователей, пуском их в ход, регулированием.

План работы. 1. Ознакомиться с устройством преобразователей.
2. Пустить в ход преобразователи, научиться регулировать напряжение.

3. Схемы преобразователей, их номинальные величины и результаты наблюдений внести в отчет.

Пояснение к работе. С устройством преобразователей нужно ознакомиться на разобранных машинах (одноякорный преобразователь, преобразователь частоты П-75В и синхронно реактивный). Собрать схему (рис. 243, а), запустить преобразователь и, изменяя индукционным регулятором подводимое к одноякорному преобразователю напряжение, наблюдать за изменением напряжения постоянного тока.

Собрать схему (рис. 243, б), пустить преобразователь в ход и подключать к нему асинхронный высокочастотный электродвигатель, скорость вращения которого измерить тахометром.

Данные измерений записать в отчет.

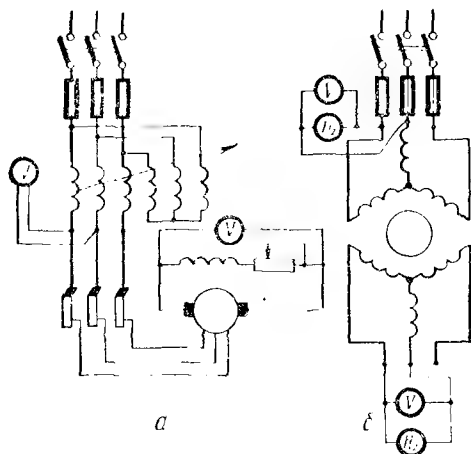


Рис. 243. Схемы для исследования преобразователей:

а — одноякорного; б — синхронно-реактивного.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ОСНОВНЫЕ НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



§ 1. Неполадки, общие для всех видов электрических машин

А. Перегрев электрических машин и трансформаторов. Ниже перечислены основные причины перегрева электрических машин и меры их устранения.

1. Перегрузка током сверх номинального.

Необходимо снизить нагрузку на машину.

2. Засорение машины, приводящее к ухудшению теплоотдачи. Следует очистить машину, продуть ее сжатым воздухом.

3. Неправильное направление вращения вентилятора с наклонными крыльями, снижающее подачу охлаждающего воздуха в машину.

Нужно изменить направление вращения машины.

4. Температура окружающего воздуха больше $+35^{\circ}\text{C}$.

Необходимо снизить нагрузку на машину.

5. Снижение скорости вращения якоря или ротора, уменьшающее циркуляцию воздуха в машине.

Следует увеличить скорость вращения машины или снизить нагрузку на нее.

6. Витковые замыкания в обмотках, при которых возникают большие токи.

Если нельзя устранить витковое замыкание на месте, то машину необходимо отправить в ремонт.

7. Перегрев подшипников из-за плохой смазки или при слишком сильно натянутом ремне.

Необходимо смазать подшипники машины, ослабить натяжение ремня.

8. Выработка подшипников, вследствие чего ротор задевает статор или якорь трется о полюса.

Необходимо заменить или отремонтировать подшипники.

Кроме этого, по отдельным видам электрических машин могут быть приведены следующие причины перегрева и меры их устранения.

Машины постоянного тока. 1. Снижение скорости вращения якоря, вызывающее необходимость для получения номинального напряжения подавать в обмотку возбуждения ток, превышающий номинальный.

Необходимо увеличить скорость вращения машины.

2. Сильное искрение под щетками из-за неудовлетворительных условий коммутации.

Необходимо проверить давление щеток на коллектор, наладить коммутацию.

3. Витковые замыкания в катушках полюсов.

Нужно ликвидировать их на месте или отдать машину в ремонт.

Синхронные машины. 1. При низком значении $\cos \varphi$ перегревается обмотка возбуждения ротора, так как для преодоления размагничивающего действия реакции якоря ток в обмотке возбуждения должен быть увеличен.

Нужно снизить нагрузку на генератор, добиваться улучшения $\cos \varphi$ в сети.

2. Соединение обмоток генератора в треугольник при неравномерной нагрузке фаз.

Обмотки генератора следует соединить в звезду или уравнивать нагрузку по фазам.

3. Повышение против номинального напряжения генератора, вследствие чего увеличиваются потери в стали и перегрев машины.

Необходимо снизить напряжение до номинального.

Асинхронные машины. 1. Повышенное напряжение сети сверх номинального вызывает увеличение потерь в стали.

Нужно снизить напряжение сети до номинального.

2. Работа двигателя на двух фазах с номинальной нагрузкой. Устранить обрыв одной фазы.

3. Снижение напряжения в сети, приводящее к перегрузке двигателя током.

Следует повысить напряжение в сети до номинального или снизить нагрузку на двигатель.

4. Обмотки статора соединены в треугольник вместо звезды.

Необходимо соединить обмотки двигателя в звезду.

Трансформаторы. 1. Снижен уровень масла в баке трансформатора, в результате чего часть сердечника и обмоток не находится в масле.

Нужно долить масло и при необходимости устранить его течь.

2. Замыкание в стали магнитопровода.

Трансформатор следует отправить в ремонт.

Б. Основные причины вибрации электрических машин. Работа электрических машин сопровождается колебаниями их частей, которые называют вибрацией.

Вибрация электрических машин возникает по самым разнообразным причинам механического и электрического характера. Она может вызвать нарушения соединений в машине, повышенный износ и перегрев подшипников.

Основные механические причины вибрации электрических машин таковы: 1) неуравновешенность вращающихся частей; 2) неправильная центровка валов агрегата при соединении машин на одном валу; 3) искривление или овальность шеек вала; 4) слишком малый или большой зазор между шейками вала и вкладышами; 5) недоста-

точная жесткость фундамента или плохое закрепление машины на фундаменте.

Основная причина вибрации электрического характера — витковые замыкания в обмотках. При этом создается магнитная асимметрия в машине, в результате чего взаимное притяжение статора и ротора становится неравномерным, что и вызывает вибрацию частей машины. Магнитная асимметрия вызывается также эксцентричным расположением ротора относительно статора вследствие выработки подшипников и неравномерности воздушного зазора между ротором и статором.

В машинах постоянного тока магнитная асимметрия редко является причиной вибрации, но в машинах переменного тока даже незначительная магнитная асимметрия может вызвать сильную вибрацию.

Для того чтобы определить, что стало причиной вибрации — магнитная асимметрия или механическая неисправность, с генератора при его работе снимают возбуждение, а электродвигатель отключают от сети и наблюдают за работой машины, пока она продолжает вращаться по инерции. Если после снятия напряжения вибрация машины прекратится, то причиной вибрации является магнитная асимметрия, в противном случае — механическая неисправность.

Вибрацию электрических машин измеряют при помощи специальных приборов — вибрографов или виброметров.

КАРТОЧКА № 129 (197)

Неполадки, общие для всех видов электрических машин

100 витков обмотки образуют параллельную ветвь. Сопротивление ветви 0,4 Ом. Э. д. с. генератора 115 В. Определите ток, возникающий в ветке при его коротком замыкании	Примерно 11,5 А	1832
	Примерно 1150 А	1444
	Примерно 11 500 А	1803
Генератор вырабатывает номинальную э. д. с. при скорости вращения, в 2 раза меньшей по номинальной ($n = 0,5 n_n$). Какое количество тепла выделяется в обмотке возбуждения при условии, что магнитопровод не насыщен?	В 2 раза больше, чем при номинальной скорости вращения	1534
	В 4 раза больше, чем при номинальной скорости вращения	1680
	Количество тепла, выделяемого в обмотке возбуждения, не зависит от скорости вращения генератора, если э. д. с. постоянна	1406
Как изменится нагрев коллектора генератора постоянного тока при смещении щеток с физической нейтральной?	Увеличится	1657
	Не изменится	1833
	Уменьшится	1445

При неизменных э. д. с. и скорости вращения синхронного генератора $\cos \varphi$ нагрузки уменьшился. Как изменился нагрев синхронного генератора, если нагрузка активно-индуктивная?	Увеличился	1809
	Не изменился	1535
	Уменьшился	1681
При неизменной механической нагрузке на валу напряжение, подведенное к асинхронному двигателю, уменьшилось. Как изменился нагрев двигателя?	Увеличился	1407
	Не изменился	1658
	Уменьшился	1834

КАРТОЧКА № 130 (184)

Исполадки, общие для всех видов электрических машин

Как изменяется количество тепла, выделяющегося в синхронном генераторе при уменьшении коэффициента мощности?	Уменьшается	1446
	Увеличивается	1810
	Не изменяется	1536
Чем вызывается вибрация электрической машины?	Неуравновешенностью вращающихся частей	1682
	Недостаточной жесткостью фундамента	1408
	Магнитной асимметрией машины	1659
	Всеми указанными выше факторами	1835
При вращении якоря по инерции наблюдается вибрация электрической машины. Вибрация вызвана	механическими причинами	1447
	электрическими причинами	1811
Укажите причину «пожара стали» трансформатора	Нарушение изоляции обмоток	1537
	Нарушение изоляции листов стали сердечника	1683
Может ли быть загрязнение машины причиной ее перегрева?	Да	1409
	Нет	1660

§ 2. Основные неполадки в работе генераторов постоянного тока

Ниже приведены основные причины, по которым генератор постоянного тока не возбуждается, и рекомендации по их устранению.

1. Щетки установлены не на нейтраль, вследствие чего напряжение машины недостаточно для ее самовозбуждения.

Необходимо установить щетки на нейтраль.

2. Неправильно подключена обмотка параллельного возбуждения к обмотке якоря, в результате чего магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, направлен против магнитного потока остаточного магнетизма.

Для возбуждения генератора переключают на доске зажимов концы обмотки возбуждения или изменяют направление вращения якоря, вследствие чего изменится направление тока в обмотке возбуждения и генератор возбуждётся.

3. Полюса генератора потеряли остаточный магнетизм (это бывает редко).

Нужно намагнитить машину от постороннего источника постоянного тока.

4. Плохой контакт в цепи возбуждения, из-за чего между щетками и коллектором возникает большое переходное сопротивление.

Следует проверить и поджать контакты, проверить и при необходимости увеличить нажатие щеток на коллектор.

5. Обрыв в цепи возбуждения.

Нужно выявить и устранить место обрыва.

6. Неправильно включен регулировочный реостат, так что ток в обмотку возбуждения не поступает (рис. 244, а).

Необходимо правильно включить регулировочный реостат согласно схеме, приведенной на рисунке 244, б.

7. Реостат из цепи возбуждения не выведен.

При пуске генератора в ход сопротивление реостата в цепи возбуждения нужно вывести и затем, после самовозбуждения генератора, отрегулировать ток возбуждения так, чтобы установить номинальное напряжение генератора.

8. Витковые замыкания или обрывы в обмотке якоря или в обмотке возбуждения.

Если замыкание или обрывы нельзя устранить на месте, то машину отправляют в ремонт.

Основные причины того, что генератор не развивает номинального напряжения, и меры их устранения таковы.

1. Скорость вращения якоря ниже номинальной.

Необходимо увеличить скорость вращения якоря генератора.

2. Щетки установлены не на нейтраль, вследствие чего в части секций параллельных ветвей обмотки якоря э. д. с. будет направлена встречно основной э. д. с.

Щетки следует установить на нейтраль.

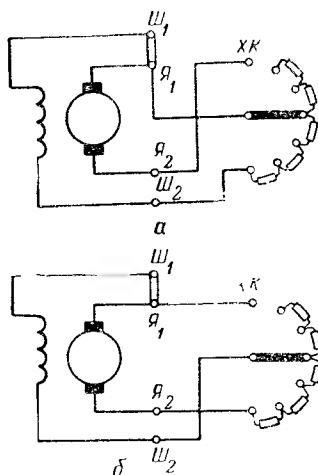


Рис. 244. Схема включения регулировочного реостата:
а — неправильно; б — правильно.

3. Большое переходное сопротивление в цепи возбуждения, в результате чего ток в обмотке возбуждения не может достигнуть нужной величины при выведенном сопротивлении регулировочного реостата.

Нужно проверить контакты в цепи возбуждения и сделать необходимые исправления.

4. У генератора смешанного возбуждения обмотки возбуждения включены встречно, вследствие чего результирующий магнитный поток полюсов при увеличении нагрузки уменьшается.

Необходимо обмотки возбуждения включить согласно.

5. Витковые замыкания в обмотках якоря или возбуждения.

Если нельзя устранить эту неисправность на месте, машину направляют в ремонт.

Основные причины искрения под щетками и меры их устранения следующие.

1. Перегрузка машины.

Нужно уменьшить нагрузку на машину, доведя ее до номинальной.

2. Щетки установлены не на нейтрали.

Нужно установить щетки на нейтрали.

3. Щетки слабо прижаты или заседают в обоймах щеткодержателей.

КАРТОЧКА № 131 (134)

Основные неполадки в работе генераторов постоянного тока

Генератор не возбуждается. Напряжение на зажимах равно нулю. Укажите возможную причину неисправности	Скорость генератора меньше номинальной	1836
	Витковые замыкания в обмотке якоря	1448
	Не в ту сторону вращается якорь генератора	1812
Генератор не возбуждается. Напряжение на зажимах составляет несколько процентов от номинального. Укажите возможную причину неисправности	Короткое замыкание части витков в обмотке возбуждения	1538
	Щетки сдвинуты с физической нейтрали на некоторый угол	1684
	Обрыв цепи возбуждения генератора	1410

Генератор не возбуждается. На- прижение на зажимах равно при- мерно половине номинального. Укажите возможную причину неисправности	Полюса генератора потеряли оста- точный магнетизм	1661
	Нет контакта между щетками и кол- лектором	1837
	Не полностью выведен реостат в цепи возбуждения	1449
Наблюдается усиленное искре- ние под щетками генератора. Укажите возможную причину неисправности	Щетки сдвинуты с физической ней- тралли на некоторый угол	1813
	Неправильно включен регулировоч- ный реостат	1539
	Скорость вращения генератора мень- ше номинальной	1685
Какая из приведенных неис- правностей не вызывает увеличе- ния искрения под щетками гене- ратора?	Неправильно выбран сорт щеток	1411
	Щетки слабо прижаты к коллектору	1662
	Генератор значительно перегружен	1838
	Оборвана цепь возбуждения гене- ратора	1450

Следует проверить и установить нормальную величину нажатия щеток на коллектор и отрегулировать щетки так, чтобы они свободно (но не слишком) передвигались в обойме щеткодержателя.

4. Щетки выбраны неправильно.

Необходимо установить сорт щеток согласно заводской инструк-
ции.

5. Большая выработка коллектора.

Машину нужно отправить в ремонт.

6. Витковое замыкание в обмотке якоря.

Если неисправность нельзя устранить на месте, то машину нужно
отправить в ремонт.

§ 3. Основные неполадки в работе трансформаторов

Работа трансформатора сопровождается характерным гудением. Это вполне нормальное явление, и объясняется оно магнитострикцией — изменением формы частиц стали при перемагничивании. Частицы стали в процессе перемагничивания то сжимаются, то удлиняются, и, хотя эти изменения составляют сотысячные доли первоначальной длины, они вызывают характерное гудение сталь-
ного сердечника трансформатора.

Однако слишком сильное гудение стального сердечника трансфор-
матора свидетельствует о нарушениях рабочего режима. Ниже

приведены возможные причины усиленного гудения трансформатора и рекомендации по устранению этого явления.

1. Ослабление болтов, стягивающих листы стального сердечника трансформатора, или ухудшение прессовки стыков в магнитопроводе.

Необходимо разобрать трансформатор и подтянуть стяжные болты или перепрессовать магнитопровод.

2. Перегрузка или несимметричная нагрузка фаз трансформатора, при которой создается несимметричность магнитных потоков в сердечниках.

Нужно устранить перегрузку, распределить равномерно нагрузку по фазам.

3. К трансформатору подведено повышенное напряжение, вследствие чего увеличивается магнитный поток.

Следует установить переключатель напряжения на ответвление, соответствующее повышенному напряжению, или принять меры для понижения подводимого напряжения.

4. Витковые замыкания в обмотках, при которых в короткозамкнутых витках протекают большие токи, создающие усиленные магнитные потоки.

Необходимо отремонтировать обмотку.

Ниже перечислены основные причины, вызывающие характерное потрескивание внутри бака трансформатора, и рекомендации по их устранению.

1. Перекрытие между обмоткой и корпусом вследствие перенапряжения.

Необходимо отремонтировать обмотку.

2. Обрыв заземления между сталью сердечника и баком, в результате чего статические заряды, появляющиеся в стальном сердечнике, попадают на корпус в виде разрядов.

Нужно разобрать трансформатор и восстановить заземление сердечника.

Недопустимые отклонения напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора от номинального могут быть вызваны следующими причинами.

1. Если первичные напряжения одинаковы, а вторичные напряжения при холостом ходе одинаковы, а при нагрузке разные, то возможен плохой контакт в соединении одного из зажимов или внутри обмотки одной из фаз или же обрыв в первичной обмотке трехстержневого трансформатора, соединенного по схеме Y/Y или Δ/Δ .

При холостом ходе магнитные потоки, возникающие в обмотках двух включенных фаз, замыкаются через стержень поврежденной фазы и индуктируют во вторичной обмотке этой фазы э. д. с. При нагрузке магнитные потоки включенных в сеть соседних фаз не могут передать во вторичную обмотку поврежденной фазы достаточной мощности, в результате чего напряжение в поврежденной фазе будет при нагрузке меньшим.

2. Если первичные напряжения однофазовы, а вторичные напряжения не одинаковы при холостом ходе и при нагрузке, то это может произойти в результате обрыва первичной обмотки трансформатора, соединенного по схеме Υ/Υ . В этом случае э. д. с. во вторичной обмотке поврежденной фазы индуцируется вследствие того, что через ее стержень замыкаются магнитные потоки неповрежденных фаз (рис. 245). Такое же явление наблюдается, если одна из фаз вторичной обмотки при соединении ее по этой же схеме будет «вывернута», когда перенутаны начало и конец обмотки.

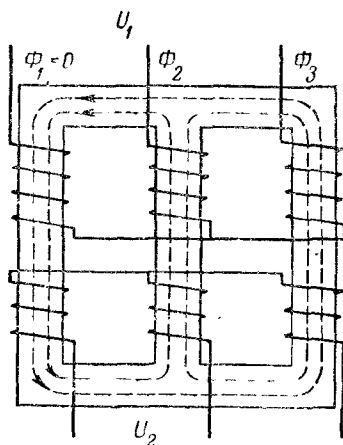


Рис. 245. Магнитные потоки в сердечнике трансформатора при обрыве одной из фаз первичной обмотки.

3. Если произойдет обрыв во вторичной обмотке трансформатора, соединенного по схеме Υ/Υ или Δ/Υ , то в этом случае одно линейное напряжение не равно нулю, а два других равны нулю. На рисунке 246, а показано, что при обрыве в фазе θ вторичной обмотки только линейное напряжение U_{ac} не равно нулю, а линейные напряжения U_{ab} и U_{bc} равны нулю.

Если оборвана одна из фаз вторичной обмотки при соединении по схеме Δ/Δ , линейные напряжения будут на всех фазах, так как образуется соединение в открытый треугольник, при котором напря-

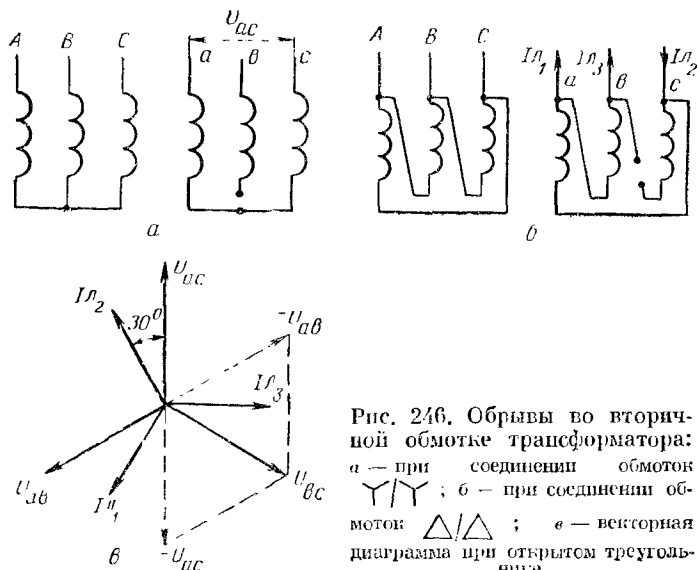


Рис. 246. Обрывы во вторичной обмотке трансформатора: а — при соединении обмоток Υ/Υ ; б — при соединении обмоток Δ/Δ ; в — векторная диаграмма при открытом треугольнике.

жение на свободных концах является равнодействующим напряжений двух фаз (рис. 24б, б и в), в данном случае

$$U_{ec} = (-U_{ac}) + (-U_{ae}).$$

При открытом треугольнике с активной нагрузкой вектор тока I_d опережает вектор напряжения на 30° . Это значит, что трансформатор работает с $\cos \varphi = 0,866$. Следовательно, отдаваемый трансформатором ток должен быть снижен на $2/3$ от $0,866 I_n$, т. е. возможна временная эксплуатация трансформатора при линейном токе, не превышающем $0,58 I_n$, так как $2/3$ от $0,866$ составят $0,58$.

Во всех этих случаях необходимо проверить контакты и провода и устранить повреждение.

КАРТОЧКА № 132 (143)

Основные неполадки в работе трансформаторов

Укажите причину нормального гудения трансформатора	Неплотно стянуты листы сердечника	1814
	Несимметрия нагрузки фаз трансформатора	1540
	Межвитковые замыкания в обмотках	1686
	Магнитострикция	1412
Какая неисправность не сопровождается потрескиванием внутри трансформатора?	Повреждение изоляции между обмоткой и корпусом	1663
	Повреждение заземления между сердечником и баком	1839
	Ослабление болтов, стягивающих листы стального сердечника	1451
Какие напряжения будут на выходе трансформатора, схема соединения обмоток которого Δ/Y , если одна фаза первичной обмотки оборвана?	При холостом ходе одинаковые, при нагрузке разные	1815
	Неодинаковые даже при холостом ходе	1541
Какие напряжения будут на выходе трансформатора, схема соединения обмоток которого Y/Y , если одна фаза первичной обмотки оборвана?	При холостом ходе одинаковые, при нагрузке разные	1687
	Неодинаковые даже при холостом ходе	1413
Можно ли эксплуатировать трансформатор, схема соединения обмоток которого Δ/Δ , если одна фаза вторичной обмотки оборвана?	Можно	1664
	Нельзя	1840
	Можно при нагрузке, не превышающей половину номинальной	1432

§ 4. Основные неполадки в работе синхронных машин

Большая часть неполадок в работе синхронных машин вызывается неисправностью машинного возбудителя.

Ниже перечислены основные причины невозбуждения синхронного генератора (кроме неполадок в работе возбудителя) и рекомендации по их устранению.

1. Обрыв или плохой контакт в цепи возбуждения ротора генератора при работающем возбудителе.

Необходимо проверить контактные соединения, состояние между-полюсных соединений катушек возбуждения на полюсах ротора, целостность катушек возбуждения и устранить повреждение.

2. Плохой контакт между щетками и контактными кольцами.

Нужно очистить от грязи контактные кольца, проверить и отрегулировать нажатие щеток на кольца, при необходимости заменить щетки.

Неравенство напряжений между фазами при холостом ходе генератора может возникнуть, если одна или несколько катушек в фазе соединены неправильно («перевернуты») и э. д. с. в них направлена встречно основной э. д. с. обмотки. Неправильное соединение может получиться при перемотке обмотки во время капитального ремонта генератора. В этом случае генератор необходимо отправить в ремонт.

Отсутствие напряжения на одной фазе наблюдается при обрыве в ней, если обмотки статора соединены в звезду, или при обрыве в двух фазах, если обмотки статора соединены в треугольник.

Обрыв необходимо выявить и устранить.

Если напряжение генератора при номинальных значениях скорости вращения ротора и тока возбуждения меньше номинального, то это можно объяснить следующими причинами и привести рекомендации по их устранению.

1. Витковые замыкания в обмотках статора или в обмотках возбуждения ротора.

Необходимо выявить и устранить повреждение или отправить машину в ремонт.

2. Неправильное соединение обмоток возбуждения ротора, когда полярность полюсов не чередуется.

Нужно проверить полярность полюсов и правильно соединить катушки.

3. Обмотки статора соединены треугольником вместо звезды.

Обмотки статора следует соединить в звезду.

Если не возбуждается генератор с твердыми или механическими выпрямителями, то это можно объяснить следующими причинами и привести основные рекомендации по их устранению.

1. Неправильное соединение или отсутствие контакта в схеме щита управления, стабилизирующего трансформатора или автоматического регулятора напряжения.

Необходимо проверить соединения схемы и сделать их в соответствии с заводской инструкцией, проверить все контакты в соединениях, почистить и поджать их.

2. Неисправен (могут быть пробиты отдельные шайбы или ослаблено нажатие шайб) или неправильно подключен твердый выпрямитель.

Следует убедиться, хорошо ли прижаты шайбы, проверить рабочие свойства выпрямителей, при необходимости заменить выпрямители.

§ 5. Основные неполадки в работе асинхронных двигателей

Ниже приведены основные причины, из-за которых асинхронный двигатель не запускается, и даны рекомендации по их устранению.

1. Перегорели предохранители или оборван провод, подводящий ток к двигателю.

Необходимо проверить целостность проводов и предохранителей и устранить повреждение.

2. Обрыв в обмотках фазного ротора или в пусковом реостате.

Следует проверить ротор, реостат и соединительные провода и устранить повреждение.

3. Одностороннее притяжение («прилипание») ротора к статору вследствие большой выработки подшипников или изгиба вала.

Нужно отремонтировать или заменить подшипники, правильно собрать двигатель, устранить перекосы, выправить вал.

4. Большая перегрузка, заедание в рабочей машине.

Необходимо устранить перегрузку, проверить состояние рабочих органов машины.

5. Обмотки статора соединены в звезду вместо соединения в треугольник.

Следует пересоединить обмотки двигателя в треугольник.

Если двигатель плохо разворачивается, сильно гудит, величина тока во всех фазах различная и при холостом ходе превышает номинальную, то причиной этого явления может быть неправильное соединение выводов обмоток — одна фаза «перевёрнута».

В этом случае двигатель работать не будет (рис. 247). Для правильного присоединения двигателя к сети нужно точно определить выводы обмоток и правильно соединить их (см. § 2 гл. XXIII).

Если двигатель хорошо идет в ход, но сила тока в фазах различна (в одной фазе ток на 73% больше, чем в двух других), то это может быть вызвано обрывом внутри одной фазы статора двигателя, обмотки которого соединены в треугольник (рис. 248). При такой схеме получается от-

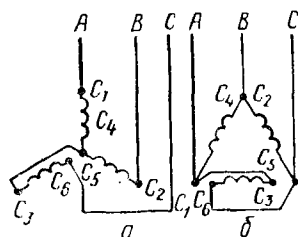


Рис. 247. Неправильное соединение выводов обмоток статора асинхронного двигателя:

а — при соединении обмоток в звезду; б — при соединении обмоток в треугольник.

крытый треугольник, в статоре образуется вращающееся магнитное поле, ротор двигателя свободно разворачивается и работает, но мощность его понижается на одну треть. В этом случае ток в фазе *B* на 73% больше, чем в фазах *A* и *C*.

Необходимо найти и устранить обрыв в обмотке.

Неформальные шумы и гудение в асинхронном двигателе могут возникать по следующим причинам: 1) витковое замыкание в обмотке статора или ротора; 2) слабая затяжка или запрессовка стали статора; 3) шум вентилятора; 4) шум изношенных шарикоподшипников и др.

В этих случаях необходимо отремонтировать двигатель, иногда достаточно заменить подшипники.

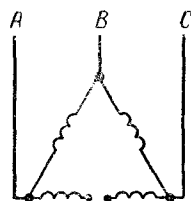


Рис. 248. Обрыв внутри фазы обмотки статора двигателя, соединенного в треугольник.

§ 6. Работа асинхронных двигателей в ненормальном режиме

Под ненормальными режимами понимают такие режимы работы электрических машин, когда значения основных параметров (напряжение, частота, нагрузка и др.) отличаются от номинальных.

Рассмотрим работу асинхронных двигателей при отклонении напряжения и частоты от номинальных.

При повышении напряжения сверх номинального и номинальной частоте магнитный поток двигателя возрастает, что приводит к увеличению потерь в стали двигателя и ее перегреву. Вращающий момент двигателя увеличивается, ухудшается коэффициент мощности двигателя. Ток статора при полной нагрузке может уменьшиться, а при малой нагрузке — увеличиться при повышении тока холостого хода.

Понижение напряжения при номинальной частоте приводит к уменьшению тока холостого хода и магнитного потока, а значит, и к уменьшению потерь в стали. При этом коэффициент мощности двигателя улучшается. При номинальной нагрузке понижение напряжения на зажимах двигателя вызывает перегрузку обмоток статора двигателя током, а при очень малой нагрузке ток статора даже уменьшается из-за снижения тока холостого хода. Вращающий момент двигателя уменьшается, так как $M \propto U_1^2$. Скольжение ротора увеличивается, что вызывает усиление тока в роторе.

При уменьшении частоты и номинальном напряжении увеличиваются ток холостого хода и магнитный поток двигателя, а это приводит к ухудшению коэффициента мощности двигателя. Вращающий момент двигателя повышается, скольжение снижается. Ток ротора уменьшается. Ток статора при малой нагрузке увеличивается в результате возрастания тока холостого хода, а при большой нагрузке уменьшается вследствие увеличения магнитного потока Φ в соответствии с формулой (156).

Таким образом, уменьшение частоты аналогично по своему действию увеличению напряжения. Поэтому если иногда приходится работать при пониженной частоте, то для того чтобы двигатель работал в режиме, близком к номинальному, следует немного снизить напряжение на зажимах двигателя.

При повышении частоты и номинальном напряжении ток холостого хода и магнитный поток уменьшаются, а следовательно, снижается и вращающий момент. На рисунке 249 приведен график зависимости тока холостого хода асинхронного двигателя от частоты, который показывает, что уменьшение частоты влечет за собой резкое увеличение тока холостого хода.

Магнитный поток асинхронного двигателя изменяется пропорционально изменению напряжения и обратно пропорционально изменению частоты согласно формуле (134).

Скорость двигателя при отклонении напряжения от номинального изменяется незначительно, если частота в сети постоянна. Например, при изменении напряжения на 20% скорость вращения изменится не более чем на 2%.

Зависимость тока статора асинхронного двигателя от частоты при номинальной нагрузке и номинальном напряжении показана на рисунке 250. Кривая 1 снята для двигателей малой мощности, у которых отношение $\frac{I_{0n}}{I_n} \approx 0,6$, а кривая 2 снята для двигателей большей мощности, у которых отношение $\frac{I_{0n}}{I_n} \approx 0,2$, где I_{0n} — ток холостого хода двигателя при номинальных значениях частоты и напряжения; I_n — номинальный ток статора двигателя в нормальном режиме.

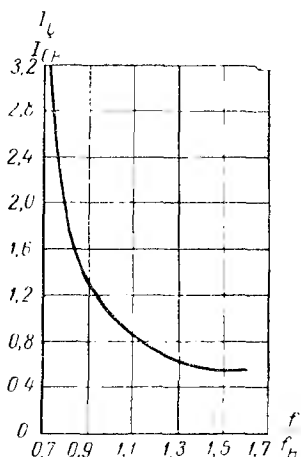


Рис. 249. Зависимость тока холостого хода асинхронного двигателя от частоты при номинальном напряжении.

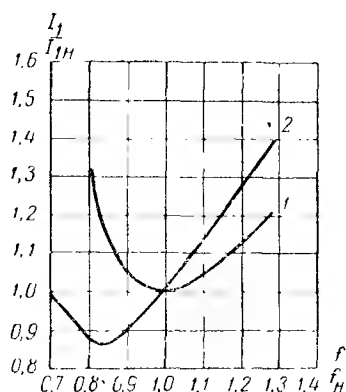


Рис. 250. Зависимость тока статора асинхронного двигателя от частоты при работе с номинальными напряжением и моментом.

Как видно из кривых, с увеличением частоты ток статора возрастает, причем это увеличение тем больше, чем меньше относительная величина тока холостого хода. Возрастание тока статора с повышением частоты объясняется тем, что при этом магнитный поток Φ уменьшается, а для того, чтобы двигатель развивал тот же момент, должен увеличиться ток в статоре и в роторе соответственно формуле (156).

При снижении частоты ток статора у двигателей с небольшой относительной величиной тока холостого хода вначале уменьшается, а затем увеличивается, а у двигателей с большой относительной величиной тока холостого хода только увеличивается, так как при снижении частоты намагничивающая составляющая тока холостого хода возрастает, что и вызывает увеличение общего тока статора.

К ненормальным режимам следует отнести также режим работы асинхронного двигателя при несимметричных фазных напряжениях в сети.

В этом случае вращающий момент и мощность двигателя снижаются, скольжение при неизменном моменте сопротивления на валу увеличивается, повышаются потери и нагрев машины, уменьшается его к. п. д. Поэтому работа асинхронного двигателя при несимметричных напряжениях в сети нежелательна.

КАРТОЧКА № 133 (288)

Основные неполадки в работе синхронных и асинхронных машин

Какие неполадки в работе синхронных генераторов встречаются наиболее часто?	Обрывы отдельных фаз и межвитковые замыкания обмотки статора	1816
	Нарушение контакта между контактными кольцами и щетками	1542
	Нарушение нормальной работы коллектора возбуждателя	1688
Какими явлениями сопровождается неправильное соединение выводов обмоток асинхронного двигателя (одна фаза «перевернута»)?	Двигатель гудит	1414
	Двигатель плохо запускается	1665
	Наблюдается сильная несимметрия токов в фазах	1841
	Всеми явлениями, указанными выше	1453
Какие явления возникают в асинхронном двигателе, включенном на напряжение, превышающее номинальное?	Увеличение потерь в стали	1817
	Ухудшение коэффициента мощности	1543
	Увеличение вращающего момента	1689
	Все явления, перечисленные выше	1415

Частота напряжения питания асинхронного двигателя несколько увеличена. Каким образом можно обеспечить работу асинхронного двигателя в режиме, близком к номинальному?	Уменьшить напряжение питания	1666
	Увеличить напряжение питания	1842
	Уменьшить механическую нагрузку на валу	1454
Синхронный двигатель вращается со скоростью, меньшей номинальной. Укажите возможную причину этого явления	Момент нагрузки на валу превышает номинальный момент	1818
	Величина напряжения питания значительно меньше номинальной величины	1544
	Частота напряжения питания меньше номинальной частоты	1690

КОНСУЛЬТАЦИИ



1. Примените правило правой руки.
2. Обратите внимание на то, что напряжение между щетками *ба* и напряжение между щетками *аа* направлены встречно.
3. Такую форму ток имеет в том случае, когда лампа через щетки присоединена к двум контактным кольцам. При наличии двух полуколец, образующих простейший коллектор, через лампу протекает выпрямленный ток.
4. Правильно. Напряжение между щетками *ба* и напряжение между щетками *аа* равны между собой и направлены встречно. Таким образом, $U_{ба} = U_{аа} = U_{са} = 0$.
5. Правильно. Величина выпрямленного напряжения генератора должна равняться напряжению аккумуляторной батареи, устанавливаемой на автомобиле.
6. Рассмотрите векторную диаграмму асинхронного двигателя. Подумайте, будет ли изменяться угол Φ_1 (а следовательно, и $\cos \Phi_1$) при изменении нагрузки двигателя.
7. Правильно. Азот, являясь инертным газом, не окисляет масло и уменьшает пожарную опасность.
8. Помимо генераторов на тракторах и автомобилях устанавливаются аккумуляторные батареи, используемые в качестве буферных и резервных источников электрической энергии. Выпускаемые промышленностью аккумуляторные батареи рассчитаны на напряжение 12 или 24 В. Таким же должно быть и значение выпрямленного напряжения генератора.
9. Вспомните, что в простой петлевой обмотке число щеток равно числу полюсов машины.
10. Правильно. Скорость ротора следует считать отрицательной, так как ротор вращается навстречу магнитному полю. При этом $s > 1$.
11. Вы правы. Якорем называется та часть машины, в которой индуцируется э. д. с. Якорь может быть как статором, так и ротором.
12. Правильно. Следует избегать включения в сеть ненагруженных или недогруженных асинхронных двигателей.
13. Правильно. Буква Э обозначает электротехническую сталь, первая за буквой цифра — степень легированности стали кремнием (чем больше цифра, тем больше процент кремния в стали), вторая за буквой цифра характеризует удельные потери в стали (чем больше цифра, тем меньше потери). Цифра 0 в конце марки означает, что имеется в виду холоднокатаная сталь.
14. Из конструктивных соображений целесообразнее изготавливать вращающийся якорь в виде целой детали, а не набирать его из отдельных тонких листов.
15. Скольжение отрицательно, когда скорость вращения ротора больше скорости вращающегося магнитного поля статора.
16. Коллектор набирают из ламелей, которые изготавливают из меди; поверхность их специально обрабатывают для повышения устойчивости к истиранию. К ламелям припаивают секции обмотки якоря.
17. В качестве возбуждателей мощных синхронных генераторов применяют генераторы постоянного тока. Обычно ротор синхронного генератора и ротор возбуждателя размещают на одном валу.
18. Это правильный ответ.
19. Правильно. Аккумулятор, номинальное напряжение которого 6В, нельзя включать на параллельную работу с генератором, номинальное напряжение которого 12 В.

20. Поскольку наряду с генератором источником электрической энергии на автомобилях служит аккумуляторная батарея, то автомобильные системы электроснабжения рассчитаны на постоянный ток. Стартер представляет собой двигатель постоянного тока.

21. Генератор и аккумулятор не могут быть включены на параллельную работу, поскольку их номинальные напряжения не равны (соответственно 12 и 6 В).

22. Правильно. Сварочные трансформаторы питаются от сетей переменного тока. Включение трансформатора в сеть постоянного тока равносильно короткому замыканию сети.

23. Электрические двигатели постоянного тока обладают большим пусковым моментом. Простые и экономичные устройства позволяют регулировать скорость двигателей плавно и в широких пределах. Поэтому эти двигатели широко применяются на электрифицированном транспорте.

24. Величина номинальной скорости генератора постоянного тока указывается на его заводском щитке.

25. Правильно. При согласном включении обмоток результирующий магнитный поток с увеличением нагрузки становится больше, компенсируя влияние факторов, уменьшающих напряжение.

26. При помощи миканитовых прокладок ламели коллектора электрически изолируют друг от друга.

27. Сталь марки УЗ10 — это повышено легированная (цифра 3) холоднокатаная (цифра 0) электротехническая (буква У) сталь с большими удельными потерями (цифра 1).

28. С точки зрения прочности целесообразнее изготавливать вращающийся якорь в виде одной детали, а не набирать его из отдельных тонких листов.

29. Вращающаяся часть машины называется ротором. Ротор может быть как якорем, так и индуктором.

30. Правильно. Применяя правило правой руки, находим, что э. д. с., индуцируемая в диске, направлена от щетки *б* к щетке *а*. Если подсоединить к щеткам *а* и *б* нагрузку, то ток через нагрузку потечет от щетки *а* к щетке *б*. Следовательно, плюс — на щетке *а*, минус — на щетке *б*.

31. Определите вначале направление напряжений между щетками *ба* и щетками *са*. Напряжение между щетками *ба* является алгебраической суммой этих напряжений: $U_{ба} = U_{ба} - U_{са}$.

32. Правильно. Два контактных полукольца образуют простейший коллектор, который выпрямляет ток.

33. Воспользуйтесь правилом правой руки: расположите правую руку так, чтобы магнитные силовые линии пронизывали ладонь, а большой палец совпадал по направлению с движением проводника; тогда четыре пальца укажут направление тока в проводнике *аб* (или *сд*).

34. Для определения направления индуцируемой э. д. с. примените правило правой руки.

35. Правильно. В соответствии с законом электромагнитной индукции в контуре наводится э. д. с., равная скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур. По условию задачи скорость изменения магнитного потока постоянна (поток уменьшается равномерно), следовательно и индуцируемая э. д. с. постоянна. Значение э. д. с. определяется по формуле

$$|e| = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{10}{2} = 5 \text{ В.}$$

36. В соответствии с законом электромагнитной индукции в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает электродвижущая сила $e = Blv$, где B — индукция магнитного поля, Т; l — активная длина проводника, м; v — составляющая скорости проводника, перпендикулярная магнитным силовым линиям, м/с.

37. Правильно. Располагаем правую руку так, чтобы магнитные силовые линии пронизывали ладонь, а отогнутый большой палец указывал направление скорости движения проводника; тогда четыре пальца укажут направление индуцированной э. д. с.

38. Обратите внимание на то, что магнитный поток, пронизывающий контур, уменьшается равномерно, т. е. изменяется с постоянной скоростью.

39. Правильно. Располагаем левую руку так, чтобы магнитные силовые линии пронизывали ладонь, а четыре пальца совпадали по направлению с током в проводнике; тогда отогнутый большой палец укажет направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

40. Правильно. По правилу правой руки определяем направление э. д. с., индуктируемых в проводниках ae и cd , а затем находим направление тока в нагрузке.

41. Вы ошибаетесь. Пульсации напряжения на щетках определенным образом зависят от числа коллекторных пластин. Чем меньше коллекторных пластин, тем больше пульсации.

42. Применяя правило правой руки, найдите направление э. д. с., индуктируемой в диске, а затем определите полярность напряжения.

43. При встречном включении обмоток их магнитные потоки вычитаются друг из друга.

44. Учтите, что кислород воздуха окисляет масло.

45. Правильно. На заводском щитке указывается значение номинального напряжения, которое отличается от э. д. с. на некоторую величину, зависящую от нагрузки генератора.

46. Сталь марки Э320 — это повышено легированная (цифра 3) холоднокатаная (цифра 0) электротехническая (буква Э) сталь со средними по величине удельными потерями (цифра 2).

47. Правильно. Набирая якорь из тонких листов, электрически изолированных друг от друга, увеличивают сопротивление вихревым токам, тем самым уменьшают тепловые потери, пропорциональные квадрату тока.

48. Втулка представляет собой основную конструктивную деталь коллектора. На втулке крепятся ламели, электрически изолированные друг от друга micaшитами прокладками.

49. Машина серии П легче, а не тяжелее аналогичной машины серии ПН.

50. Напряжение и мощность этого генератора соответствуют серии ПН.

51. Правильно. Машины серии П в среднем на 26% легче аналогичных машин серии ПН.

52. Напряжение и мощность этого генератора соответствуют серии ПН.

53. Вы правы, пружина не является деталью коллектора. Пружины устанавливаются в щеткодержателях и обеспечивают постоянное давление в скользящем контакте между коллектором и щеткой.

54. Сталь марки Э43 — это высоколегированная (цифра 4) электротехническая (буква Э) сталь с малыми удельными потерями (цифра 3).

55. Правильно. Кремний добавляют для снижения удельной электропроводности материала. При этом уменьшаются вихревые токи и тепловые потери, пропорциональные квадрату тока.

56. Вы ошибаетесь. Применяя правило правой руки, можно найти направление э. д. с., индуктируемой в диске, а затем определить полярность напряжения между щетками ab .

57. Величина пульсаций зависит от числа коллекторных пластин. Чем больше коллекторных пластин, тем меньше пульсации.

58. Воспользуйтесь правилом правой руки и найдите направление э. д. с., индуктируемых в проводах ae и cd . После этого определите направление тока в нагрузке.

59. Правильно.

60. Значение номинальной мощности генератора постоянного тока, как и любой другой электрической машины, указывается на ее заводском щитке.

61. Направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, определяют по правилу левой руки.

62. Правильно. Этот принцип впервые был сформулирован русским ученым академиком Э. Х. Лешцем.

63. В соответствии с законом электромагнитной индукции в контуре, который пронизывается переменным магнитным потоком, наводится э. д. с., равная скорости изменения магнитного потока: $\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$.

64. В формулу закона электромагнитной индукции $\epsilon = Blv$ активную длину проводника следует подставлять в метрах.

65. Это неполный ответ.

66. Вы ошиблись. Посмотрите правильное решение в консультации к первой строке ответов на этот вопрос.

67. Правильно. В формулу закона электромагнитной индукции величину индукции подставляем в теслах ($T = \text{Вб/м}^2 = \text{В} \cdot \text{с/м}^2$), а активную длину проводника — в метрах: $\epsilon = Blv = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ В}$. Напоминаем, что T (тесла) — единица измерения магнитной индукции; Вб (вебер) — единица измерения магнитного потока.

68. Индуцированный ток препятствует не только увеличению, но и уменьшению магнитного потока, пронизывающего контур.

69. Индуцированный ток препятствует не только уменьшению, но и увеличению магнитного потока, пронизывающего контур.

70. Правильно, число щеток равно числу полюсов.

71. При увеличении числа коллекторных пластин пульсации напряжения уменьшаются.

72. Небольшая добавка кремния в сталь мало сказывается на потерях на перемагничивание стали. Добавка кремния уменьшает удельную электропроводность стали и вихревые токи в ней, а следовательно, и тепловые потери, пропорциональные квадрату тока.

73. Кремний добавляют для уменьшения удельной электропроводности стали. При этом уменьшаются вихревые токи и тепловые потери. Введение кремния в состав стали снижает механическую прочность стали, а не повышает ее.

74. Ширина секции измеряется разностью номеров пазов, в которых уложены начало и конец секции.

75. Напряжение и мощность этой машины постоянного тока соответствуют серии II. По значению напряжения можно установить, что это генератор. Соответствующий двигатель имел бы напряжение 110 В.

76. Напряжение и мощность этой машины постоянного тока соответствуют серии II. По значению напряжения можно установить, что это двигатель.

77. Набегающий край полюса помечен буквой б. Здесь магнитное поле основных полюсов ослабляется из-за размагничивающего действия реакции якоря.

78. Поделите ширину щетки на линейную скорость коллектора.

79. Напряжение и мощность этого генератора соответствуют серии ПН (напряжение 145, 230 и 460 В, мощность от 0,37 до 130 кВт).

80. Правильно. Из графика находим $\Delta U = 253 - 230 = 23 \text{ В}$ и напряжение при номинальном токе нагрузки $U_n = 230 \text{ В}$.

81. Правильно. Учтываем, что $I_n = I$ и полагаем $I = 0$. Затем по графику находим напряжение U_0 , соответствующее току $I = 0$.

82. Машина серии II легче, чем аналогичная машина серии ПП.

83. Якорь будет вращаться, так как вращающий момент не меняет направления при одновременном изменении тока I_d и потока Φ .

84. Правильно. При встречном включении обмоток серийная обмотка с увеличением нагрузки уменьшает результирующий магнитный поток, что препятствует снижению скорости двигателя. При согласном включении обмоток шунтовая обмотка обеспечивает необходимую величину потока возбуждения в режиме холостого хода двигателя, что ограничивает рост скорости.

85. Правильно.

86. Обратите внимание на то, что в первом случае ток возбуждения надо уменьшать, во втором — увеличивать.

87. Правильно. Изменяющийся магнитный поток индуцирует э. д. с. в обмотках трансформатора.

88. Правильно:

$$I_{op} = \sqrt{I_0^2 - I_{ca}^2} = \sqrt{(0,2)^2 - (0,01)^2} \approx 0,2 \text{ А.}$$

89. Правильно. Всегда $E'_2 = E_1$.
90. Не рекомендуется включать амперметр в цепь вторичной обмотки.
91. Вы ошиблись в знаке. Учтите, что напряжение при холостом ходе выше, чем напряжение при номинальной нагрузке.
92. Правильно, к. п. д. максимален, когда $P_M = P_{ст}$.
93. Правильно, обмотка высшего напряжения имеет мало слоев.
94. Изменяется только число витков обмотки высшего напряжения.
95. Правильно. Ширина секции равна трем пазам.
96. Напряжение и мощность этой машины постоянного тока соответствуют серии П. По величине напряжения можно установить, что это двигатель. Соответствующий генератор имел бы напряжение 230 В.
97. Магнитное поле у генератора ослабляется под набегавшим краем полюса.
98. Ток в коммутируемой секции изменяется от $+i_n$ до $-i_n$.
99. Учтите, что машина имеет четыре полюса.
100. Примите во внимание, что $\Delta U = 253 - 230 = 23$ В; $U_n = 230$ В.
101. Правильно, $E_0 = \sin \Phi_0$.
102. Номинальные значения напряжения и тока указываются на заводском щитке генератора.
103. Правильно. Направление тока и направление потока возбуждения изменяются одновременно, следовательно вращающий момент не меняет направления.
104. Вы перепутали способы включения обмоток.
105. Вы перепутали понятия механических и добавочных потерь.
106. Правильно. В первом случае ток возбуждения надо уменьшать, во втором — увеличивать.
107. Закон Ампера определяет силу, действующую на проводник с током в магнитном поле.
108. Воспользуйтесь формулой $I_{op} = \sqrt{I_n^2 - I_{oa}^2}$.
109. Правильно: $E'_2 = kE_2 = 0,5 \cdot 400 = 200$ В.
110. Воспользуйтесь формулой $U_k = \frac{U_n U_{к\%}}{100}$.
111. Правильно: $\Delta U = 400 - 380 = 20$ В. Изменение напряжения ΔU имеет положительный знак, так как напряжение холостого хода выше, чем напряжение при номинальной нагрузке.
112. При холостом ходе к. п. д. трансформатора равен нулю.
113. Правильно.
114. Изменяют число витков обмотки высокого напряжения. Делать это для обмотки, по которой протекает большой ток, нецелесообразно.
115. Принцип Ленца гласит: индуцируемый ток всегда стремится устранить причину, его вызывающую.
116. Намагничивающая составляющая тока холостого хода трансформатора по величине практически равна току холостого хода.
117. При любой полярности полюсов ослабление магнитного потока у генератора происходит под набегавшим краем каждого полюса.
118. Переведите размерность значения ширины щетки в метры.
119. Правильно.
120. Примите во внимание, что $\Delta U = 253 - 230 = 23$ В; $U_n = 230$ В.
121. Вспомните, что у генератора последовательного возбуждения $I_B = I$. При холостом ходе $I = 0$.
122. Правильно. При уменьшении числа коллекторных пластин пульсации напряжения на щетках увеличиваются. У первого генератора число коллекторных пластин меньше, следовательно пульсации больше, чем у второго.
123. Это скоростная характеристика шунтового двигателя.
124. Генератор потребляет механическую мощность двигателя.
125. Это правильный, но неполный ответ.
126. Вы не учли, что значение э. д. с. пропорционально числу витков обмотки.
127. Правильно. Через щетку течет ток $2i_n$. Ток в коммутируемой секции изменяется от $+i_n$ до $-i_n$.
128. Вспомните, что всегда $E'_2 = E_1$.

129. Воспользуйтесь выражением $E'_2 = kE_2$.
130. Правильно: $U_K = \frac{U_H U_{K\%}}{100} = \frac{110 \cdot 11}{100} = 12,1$ кВ.
131. Правильно, при емкостной нагрузке напряжение увеличивается с увеличением тока.
132. Ширина секции равна трем пазам.
133. Потому что лучше условия охлаждения.
134. Правильно.
135. Правильно. Для рассуждений используем правило левой руки.
136. Чтобы обеспечить постоянство скорости вращения двигателя, шунтовую и силовую обмотки надо включить встречно.
137. Магнитные потери обозначают $P_{ст}$, переменные — P_M .
138. У генератора под набегающим краем полюса магнитное поле ослабляется, под сбегающим — усиливается.
139. Правильно. Делим ширину щетки, выраженную в метрах, на линейную скорость коллектора.
140. Примите во внимание, что $\Delta U = 11,5$ В; $U_H = 115$ В.
141. Это правильный, но неполный ответ.
142. Вы не учли падение напряжения на активном сопротивлении якоря.
143. Пока магнитопровод не насыщен, напряжение генератора с ростом нагрузки увеличивается, несмотря на увеличение реакции якоря.
144. Нет необходимости измерять вторичное напряжение: оно равно нулю.
145. При активной нагрузке напряжение на выходных зажимах уменьшается с увеличением тока, поэтому $\Delta U > 0$.
146. Учтите, что к. п. д. максимален, когда $P_M = P_{ст}$.
147. Правильно. У компаундного двигателя изменение скорости меньше, чем у серийного.
148. Правильно, механическая мощность преобразуется в электрическую.
149. Это правильный, но неполный ответ.
150. Правильно. Эти выражения следуют из закона электромагнитной индукции.
151. Учтите, что первый частичный шаг обмотки равен 4.
152. Вспомните, что приведенное значение э. д. с. вторичной обмотки равно э. д. с. первичной обмотки: $E'_2 = 50$ В.
153. Правильно.
154. При индуктивной нагрузке $\Delta U > 0$, так как напряжение на выходных зажимах уменьшается с увеличением тока.
155. Правильно, трансформатор потребляет мощность потерь, не отдавая мощности в нагрузку.
156. Обмотка низшего напряжения всегда имеет меньше слоев, чем обмотка высшего напряжения.
157. Обмотка низшего напряжения имеет мало слоев, обмотка высшего напряжения — многослойная.
158. Ширина секции измеряется разностью номеров пазов, в которых уложены начало и конец секции.
159. Правильно. Мощность этой машины не соответствует серии П (от 0,3 до 200 кВт).
160. Правильно. Мощность этого генератора не соответствует серии ПН (от 0,37 до 130 кВт).
161. Чтобы напряжение генератора не изменилось при увеличении скорости вращения, R_B надо увеличить.
162. Обратите внимание на то, что через щетку течет ток $2i_a$.
163. Вспомните определения первого и второго частичных шагов петлевой обмотки.
164. Правильно. Находим $\Delta U = 11,5$ В, а затем $\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot 100$.
165. Это правильный, но неполный ответ.
166. Учтите, что результирующий шаг обмотки равен единице.
167. При изменении направления тока возбуждения изменяется на обратное направление силовых линий магнитного поля, создаваемого этим током.

168. Правильно. Ток возбуждения увеличивается, а скорость вращения двигателя уменьшается.

169. Добавочные потери в двигателе постоянного тока мощностью 100 кВт составляют примерно 1 кВт.

170. Чтобы напряжение генератора не изменилось при увеличении нагрузки, сопротивление цепи возбуждения надо уменьшить.

171. Воспользуйтесь формулой $S_H \approx \sqrt{3} U_H I_H$.

172. Посмотрите правильное решение: $I_{0a} = \frac{P_0}{U_1} = \frac{5}{500} = 0,01 \text{ А}$.

173. Воспользуйтесь выражением $E_2 = kE_1$.

174. Вы ошиблись: $U_K = \frac{U_H U_{K\%}}{100} = \frac{110 \cdot 11}{100} = 12,1 \text{ кВ}$.

175. При изменении тока нагрузки меняется падение напряжения на внутреннем сопротивлении обмоток трансформатора, следовательно меняется напряжение на нагрузке.

176. Вы неправильно определили номер паза, в котором лежит конец первой секции.

177. Серебро не используется для изготовления обмоток силовых трансформаторов.

178. Изменяется число витков обмотки высокого напряжения, по которой протекает меньший ток.

179. Это скоростная характеристика серийного двигателя.

180. Правильно, электрическая мощность преобразуется в механическую.

181. Правильно.

182. Правильно. Отношение чисел витков обмоток трансформатора равно коэффициенту трансформации.

183. У двигателя ослабление магнитного поля наблюдается под бегающим краем полюса.

184. Это условие пропорциональной зависимости между сопротивлением и площадью контактного контакта.

185. Правильно. Обмотка якоря и обмотка возбуждения соединены параллельно.

186. Правильно. $U = E - I R_d = 240 - 100 \cdot 0,4 = 200 \text{ В}$.

187. Пока магнитопровод не насыщен, напряжение генератора с увеличением нагрузки увеличивается, несмотря на то, что усиливается падение напряжения внутри обмоток.

188. Примите во внимание, что $U_H = 115 \text{ В}$, а $\Delta U = 115 - 103,5 = 11,5 \text{ В}$.

189. Правильно. У генератора с последовательным возбуждением при увеличении нагрузки увеличивается магнитный поток возбуждения (пока магнитная цепь не насыщена).

190. Правильно.

191. Вспомните правило левой руки. Зависит ли направление силы и момента от направления тока?

192. Учтите, что при увеличении сопротивления r ток возбуждения усиливается.

193. Правильно. Добавочные потери составляют примерно 1% от номинальной мощности машины.

194. Плавное регулирование сварочного тока осуществляется за счет изменения величины регулировочного сопротивления.

195. Обратите внимание на то, что трансформатор трехфазный.

196. Вы ошиблись: $I_{0a} = \frac{P_0}{U_1} = \frac{5}{500} = 0,01 \text{ А}$.

197. Надо разделить на u_1 .

198. Для лучшего охлаждения.

199. При емкостной нагрузке усиление тока приводит к увеличению напряжения на зажимах трансформатора и на сопротивлении нагрузки.

200. Обратите внимание на то, что скорость вращения двигателя увеличивается.

201. Сталь не используется в качестве материала, из которого изготавливают обмотки трансформаторов.

202. Легче переключать секции обмотки высшего напряжения, так как по ней течет меньший ток.

203. Правильно. При емкостной нагрузке $\Delta U < 0$, поскольку напряжение на выходных зажимах трансформатора увеличивается с усилением тока нагрузки.

204. Учтите, что при холостом ходе $P_2 = 0$, а $P_1 \neq 0$.

205. Правильно. У двигателя ослабляется магнитное поле под сбегающим краем полюса.

206. Это условие пропорциональной зависимости площади контакта щетки с коллекторной пластиной от времени их соприкосновения.

207. При последовательном возбуждении обмотка возбуждения включается последовательно с обмоткой якоря.

208. Воспользуйтесь формулой $U = E - IR_a$.

209. Правильно. Напряжение генератора начнет уменьшаться только тогда, когда произойдет насыщение магнитопровода.

210. Правильно. Когда скорость вращения увеличивается, динамический момент суммируется с полезным моментом, следовательно $M = M_2 + M_0 + M_{\text{дин}} = 2 + 0,4 + 0,5 = 2,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

211. Приведенное значение тока определяют по формуле $I_2 = \frac{I_2}{k}$.

212. Амперметр и вольтметр во вторичной цепи не нужны.

213. Обратите внимание на кривую 2.

214. Двигатель постоянного тока потребляет электрическую мощность.

215. Контакты реле обратного тока размыкаются при снижении напряжения генератора.

216. Оба названных отношения равны коэффициенту трансформации $k = \frac{w_1}{w_2}$.

217. Второй частичный шаг находят как разность первого частичного и результирующего шагов: $y_2 = y_1 - y$.

218. Воспользуйтесь формулой $I_2 = \frac{I_2}{k}$.

219. Найдите более точный ответ.

220. Обратите внимание на знак изменения напряжения.

221. К. и. д. равен нулю, так как $P_2 = 0$.

222. Правильно, по этим каналам осуществляется конвекционное движение масла, охлаждающего обмотки трансформатора.

223. Правильно. Номинальное напряжение двигателя было бы 220 В.

224. Двигатель имел бы номинальное напряжение 220 В.

225. Потери в меди пропорциональны квадрату коэффициента нагрузки.

226. Правильно.

227. Правильно. По обмотке высокого напряжения протекает меньший ток.

228. Правильно. Конец первой секции — в четвертом пазу, начало второй секции — в третьем пазу; разность номеров пазов равна 1.

229. Правильно. При уменьшении сопротивления r_1 увеличивается магнитный поток возбуждения, при уменьшении сопротивления r_2 увеличивается напряжение на щетках двигателя.

230. У двигателя под сбегающим краем полюса магнитное поле ослабляется, под набегающим краем — усиливается независимо от полярности полюсов машины.

231. Реакция якоря искажает магнитное поле электрической машины.

232. Правильно, коммутация лишняя, если сумма э. д. с. в короткозамкнутой секции равна нулю.

233. При независимом возбуждении обмотка возбуждения питается от специального источника электрической энергии.

234. Правильно, необходимы все показанные на схеме приборы.

235. Величина э. д. с. остаточного магнетизма не зависит от схемы возбуждения генератора.

236. Правильно. $M = \frac{E_{\text{я}} I_{\text{я}}}{\omega} = \frac{100 \cdot 10}{100} = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

237. Правильно. Сервисный двигатель нельзя разгружать до такой степени, когда нагрузка меньше 25% номинальной.

238. Правильно: $P_{\text{ш}} = \Delta U_{\text{ш}} I_{\text{я}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ Вт}.$

239. Вспомните, что встречное включение пунтовой и сервисной обмоток используется для поддержания постоянства скорости при изменении нагрузки.

240. Учтите, что потребляемая мощность равна сумме полезной мощности и потерь.

241. Это неточный ответ. До какой величины должно снизиться напряжение генератора?

242. Правильно: $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10\,000}{400} = 25.$

243. Это полные потери в стали трансформатора.

244. Правильно: $I_2 = \frac{I_2}{k} = \frac{10}{0,5} = 20 \text{ А}.$

245. В общем случае векторная диаграмма упрощенной схемы замещения трансформатора имеет другой вид.

246. Падение напряжения $\Delta U > 0$, следовательно напряжение на зажимах вторичной обмотки при холостом ходе больше, чем при номинальной нагрузке.

247. Правильно.

248. Правильно, чем больше мощность трансформатора, тем более совершенной должна быть его система охлаждения.

249. Вспомните, как изменяется магнитный поток возбуждения с увеличением нагрузки у генератора с последовательным возбуждением.

250. Выбрав такое направление тока, Вы полагаете, что машина получает питание от сети. Но тогда она работает в режиме двигателя.

251. Коэффициент кратности одинаковым образом определяется и для волновой и для петлевой сложных обмоток.

252. При индуктивной нагрузке увеличение тока приводит к уменьшению напряжения на выходных зажимах трансформатора и на сопротивлении нагрузки.

253. Коммутируется секция, принадлежащая к пластинам, которые одновременно касаются щетки.

254. Вы перепутали способы ступенчатого и плавного регулирования сварочного тока.

255. Правильно: $I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}}} = \frac{180}{20 \sqrt{3}} = 5,2 \text{ А}.$

256. Наоборот: а) уменьшается; б) увеличивается. Подумайте, почему?

257. Вспомните значения номинальных напряжений генераторов серии ПН.

258. При рассуждениях используйте формулу

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_E \Phi}.$$

259. Скорость будет увеличиваться, так как $M_{\text{вр}} > M_{\text{торм}}.$

260. Учтите, что падение напряжения на графитных щетках равно 2 В.

261. Правильно.

262. Правильно. $I_{\text{н2}} = \frac{S_{\text{н}}}{U_{\text{н2}}} = \frac{20\,000}{400} = 50 \text{ А}.$

263. Воспользуйтесь формулой трансформаторной э. д. с. $E = 4,44 \omega f \Phi_{\text{м}}$, положив $\Phi_{\text{м}} = 0,02 \text{ Вб}.$

264. Правильно.

265. Правильно: $I_{0\text{а}} = \frac{P_0}{U_1} = \frac{5}{500} = 0,01 \text{ А}.$

266. При изменении тока нагрузки трансформатора изменяется падение напряжения внутри обмоток, а следовательно и напряжение на выходных зажимах трансформатора и на нагрузке.

267. Правильно.

268. Это верно, но среди предлагаемых ответов есть более точный.
269. Найдите номера пазов, в которых лежит конец первой секции и начало второй секции, и разность этих номеров.
270. Вспомните номинальные напряжения генераторов и двигателей серии П.
271. Обратите внимание на то, что машина имеет четыре полюса ($2p = 4$).
272. У генератора физическая нейтраль поворачивается в сторону вращения якоря.
273. Правильно, токи обратно пропорциональны сопротивлениям.
274. Обратите внимание на обмотку возбуждения, включенную последовательно с обмоткой якоря.
275. Чтобы поддерживать напряжение генератора постоянным, его необходимо контролировать при помощи вольтметра.
276. Вы правы. Но, как правило, наибольшие неприятности связаны с резким изменением напряжения генератора при изменении нагрузки.
277. Вы ошиблись в вычислениях:

$$M = \frac{E_n I_n}{\omega} = \frac{100 \cdot 40}{100} = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

278. Надо разделить на w_1 .
279. Правильно. Стабилизация скорости обеспечивается при встречном включении шунтовой и серийной обмоток.
280. Воспользуйтесь формулой $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, где $P_1 = 0,3 + 0,1 = 0,4$ кВт.
281. Правильно, только в этом случае через обмотку реле обратного тока потечет обратный ток.
282. Воспользуйтесь формулой $k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2}$.
283. Правильно: полные потери в стали делим на массу сердечника.
284. Воспользуйтесь формулой $R'_2 = k^2 R_2$.
285. Правильно.

286. Вы ошиблись. $\Delta U = \frac{U_n \Delta U_{\%}}{100} = \frac{220 \cdot 5}{100} = 11 \text{ В}.$

$$U_0 = U_n + \Delta U = 220 + 11 = 231 \text{ В}.$$

287. Учтите, что результирующий магнитный поток уменьшился.
288. Чем больше мощность трансформатора, тем более совершенной должна быть его система охлаждения.
289. Потери в стали не зависят от коэффициента нагрузки.
290. Правильно.
291. Правильно, при помощи переключателя меняют отношение чисел витков первичной и вторичной обмоток.
292. Вы определили первый частичный шаг.
293. Коэффициент кратности равен числу простых обмоток, составляющих сложную обмотку.
294. Правильно. $P_1 = 0,3 + 0,1 = 0,4$ кВт; $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,3}{0,4} = 0,75$.
295. Правильно. Коммутируется секция, замкнутая щеткой.
296. Воспользуйтесь формулой $S_n = U_{n2} I_{n2}$.
297. Во вторичной обмотке тоже индуцируется трансформаторная э. д. с.
298. Вы ошиблись в знаке.
299. Вспомните, как влияет реакция якоря и другие факторы на напряжение генератора с параллельным возбуждением.
300. Этот момент пропорционален угловому ускорению вала.
301. Рассмотрите формулу $n = \frac{U - I_n R_a}{C_E \Phi}$ и дайте правильный ответ.
302. При уменьшении нагрузки скорость двигателя увеличивается.
303. Правильно. $P_{эл} = I_a^2 (R_a + R_c) + I_a U = 10^2 (0,1 + 0,1) + 0,1 \cdot 100 = 30 \text{ Вт}.$

304. При увеличении сварочного тока магнитный поток реакции якоря и обе составляющие этого магнитного потока увеличиваются.

305. Реле обратного тока имеет две обмотки.

306. Воспользуйтесь формулой $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$.

307. Вспомните, что мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода, расходуется на покрытие потерь в стали.

308. Приведенное значение активного сопротивления вторичной обмотки определяется по формуле $R'_2 = k^2 R_2 = 0,5^2 \cdot 1 = 0,25$ Ом.

309. Правильно. Потери в стали пропорциональны квадрату напряжения. Поскольку $U_K = 0,05 U_H$, потери в стали при опыте короткого замыкания в 400 раз меньше, чем при номинальном режиме.

310. Правильно: $\Delta U = 220 \cdot 0,05 = 11$ В; $U_0 = U_H + \Delta U = 220 + 11 = 231$ В.

311. Правильно, с увеличением индуктивной нагрузки напряжение на выходных зажимах трансформатора уменьшается.

312. Конструкция системы охлаждения трансформатора зависит от его мощности.

313. Для предохранения бака от разрыва при коротких замыканиях обмоток трансформатора.

314. Правильно, номинальное напряжение двигателя меньше номинального напряжения генератора.

315. Правильно. Коэффициент кратности равен числу простых обмоток, из которых состоит сложная обмотка.

316. Токи i_1 и i_2 обратно пропорциональны сопротивлениям r_1 и r_2 .

317. Коммутируется секция, закороченная петлей.

318. Вы перепутали направление смещения нейтрали у генератора и у двигателя.

319. Правильно. Изменяя сопротивление r_2 , устанавливаем номинальное напряжение на зажимах генератора при холостом ходе или при номинальной нагрузке. Затем изменяем сопротивление r_1 и замерим ток якоря и напряжение генератора.

320. Ток короткого замыкания создается за счет э. д. с. остаточного магнетизма, которая пропорциональна скорости вращения якоря.

321. Этот механический момент пропорционален тормозной силе нагрузки, приложенной к валу.

322. Скорость электродвигателя зависит от значения потока возбуждения.

323. Правильно. При уменьшении механической нагрузки на валу, а следовательно, и тока якоря, равного току возбуждения, скорость серийного двигателя резко увеличивается.

324. Вы не учли потери в шунтовой обмотке возбуждения.

325. Правильно.

326. Номинальные напряжения различных двигателей серии П либо равны между собой, либо отличаются в 2 раза.

327. Правильно. Значения э. д. с. определяем по формуле $E = 4,44 f \Phi_m$, где $\Phi_m = 0,02$ Вб.

328. Правильно. Это уравнение называют уравнением магнитного равновесия трансформатора.

329. Обратите внимание на обмотку возбуждения, включенную параллельно обмотке якоря.

330. Напряжение на зажимах трансформатора увеличивается при увеличении емкостной нагрузки.

331. Обмоточным проводам с большой площадью поперечного сечения придают прямоугольную форму.

332. Входное напряжение трансформатора обычно не регулируется, оно равно напряжению сети.

333. Второй частичный шаг — это расстояние между концом первой секции и началом второй.

334. Учтите, что изменится ток генератора и падение напряжения внутри обмотки якоря.

335. Правильно. Э. д. с. пропорциональна магнитной индукции, активной длине проводника и скорости пересечения силовых линий магнитного поля.

336. Правильно. У генераторов физическая нейтраль смещается по направлению вращения якоря, у двигателей — против.

337. Правильно, формула отражает линейную коммутацию.

338. Правильно. Магнитный поток возбуждения создается в результате совместного действия двух обмоток.

339. Правильно. Увеличивается ток генератора, увеличивается падение напряжения в обмотке якоря, уменьшается показание вольтметра.

340. При согласном включении обмоток сериесная обмотка компенсирует размагничивающее действие реакции якоря, поэтому $I \approx \text{const}$.

341. Ток холостого хода опережает по фазе основной магнитный поток.

342. Синусоидально изменяющиеся величины допускают сложение только в векторной форме.

343. Правильно. Результирующий магнитный поток уменьшился, скорость двигателя увеличилась.

344. Учтите, что отдаваемая (полезная) мощность $P_2 = 1 - 0,15 = 0,85$ кВт.

345. Правильно. Через эту обмотку проходит ток нагрузки.

346. Правильно. $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$, отсюда $I_2 \approx \frac{U_1 I_1}{U_2}$.

347. Номинальные напряжения различных генераторов серии П либо равны между собой, либо отличаются в 2 раза.

348. Правильно. $R_2' = k^2 R_2 = 0,5^2 \cdot 1 = 0,25$ Ом.

349. Потери в стали пропорциональны квадрату напряжения.

350. Найдите более точный ответ.

351. Правильно.

352. Обычная резина разрушается под действием трансформаторного масла.

353. Правильно.

354. Измерять ток возбуждения нет необходимости.

355. Правильно. С увеличением скорости вращения якоря увеличивается э. д. с. остаточного магнетизма и ток короткого замыкания.

356. Этот момент определяется моментами трения и потерями холостого хода.

357. У двигателей физическая нейтраль смещается против направления вращения якоря.

358. Это график замедленной коммутации, а формула соответствует линейной коммутации.

359. Нецелесообразно тратить на возбуждение 20% мощности генератора.

360. Учтите, что ток нагрузки и падение напряжения в обмотке якоря увеличиваются.

361. Правильно. Магнитные потоки шунтовой и сериесной обмоток влияют друг на друга, и с увеличением нагрузки напряжение генератора резко падает.

362. Правильно. Скорость электродвигателя обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения.

363. При отключенной нагрузке ток якоря будет небольшим, сравнительно малым будет и количество тепла, выделяющегося в обмотке якоря.

364. Это потери в шунтовой обмотке возбуждения двигателя.

365. Изменился магнитный поток возбуждения, следовательно, изменилась и скорость двигателя.

366. Воспользуйтесь формулой $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, где $P_2 = 1 - 0,15 = 0,85$ кВт.

367. Обмотка реле регулятора напряжения состоит из большого числа витков тонкого провода.

368. При холостом ходе ток нагрузки равен нулю.

369. Потому что реакция якоря не влияет на величину магнитного потока Φ_2 , от которого зависит ток возбуждения.

370. Воспользуйтесь формулой $x_2' = k^2 x_2$.

371. При уменьшении напряжения потери в стали уменьшаются.

372. Можно, если известен коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_2$.

373. Эта формула удобна для определения э. д. с. в неподвижной катушке, если известен закон изменения магнитного потока с течением времени.

374. Правильно, прокладки изготовляют из маслостойкой резины.

375. При такой конструкции трудно было бы обеспечить герметичность бака.

376. Сердечник трансформатора крепят к опорным балкам.

377. Вы определили второй частичный шаг.

378. Правильно. Обмотки трансформатора типа ТСМА изготавливают по альюминия.

379. Правильно. Для определения результирующего шага нужно из номера паза, в котором уложено начало второй секции, вычесть номер паза, в котором уложено начало первой секции.

380. Правильно. $M = \frac{E_n I_n}{\omega}$.

381. Эта формула неудобна для определения э. д. с., индуцируемой в движущемся в магнитном поле проводнике.

382. При отсутствии насыщения величина результирующего магнитного поля не меняется.

383. Это график ускоренной коммутации, а формула соответствует линейной коммутации.

384. Правильно. Мощность возбуждения составляет около 2% мощности генератора.

385. В этом случае показание вольтметра уменьшится.

386. У перекомпаундированного генератора напряжение на зажимах с увеличением нагрузки повышается.

387. Вспомните, что с увеличением скорости вращения якоря увеличивается э. д. с. остаточного магнетизма.

388. Учтите, что при согласном включении обмоток с уменьшением r магнитный поток увеличивается.

389. Правильно. $P_2 = 1 - 0,15 = 0,85$ кВт; $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,85}{1} = 0,85$.

390. Относительное постоянство скорости характерно для двигателей параллельного возбуждения.

391. Правильно. Вследствие потерь в стали ненагруженный трансформатор потребляет из сети некоторый ток.

392. Вы забыли включить реостат r_1 .

393. Таким было бы приведенное сопротивление при $k = 1$.

394. При опыте короткого замыкания потери в стали сердечника настолько малы, что ими можно пренебречь.

395. Правильно. $\Delta U = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2$.

396. Правильно. При увеличении падения напряжения внутри обмотки напряжение на выходных зажимах уменьшается.

397. Учтите, что объем масла меняется при изменении температуры.

398. Правильно.

399. Скорит пусковой реостат, так как он не рассчитан на работу в длительном режиме.

400. Наоборот, условия пуска будут более легкими.

401. Воспользуйтесь формулой $P_{эл} = I_a^2 (R_a + R_{с.о.})$.

402. Правильно. Реакция якоря не влияет на магнитный поток Φ_2 , потому что он замыкается через насыщенные добавочные полюса.

403. При изменении режима работы машины направление тока в секции обмотки изменится, следовательно в случаях а и б оно не может быть одинаковым.

404. Правильно. В режиме генератора ток направлен от обмотки к щетке и далее к нагрузке. В режиме двигателя ток протекает от щетки в обмотку.

405. Правильно. Критический ток примерно в 2,5 раза превышает номинальный ток генератора.

406. Правильно.

407. Правильно. Пусковой реостат рассчитан на кратковременную работу.

408. Правильно. Пусковой момент пропорционален квадрату пускового тока.

409. Правильно. $P_{эл} = I_a^2 (R_a + R_{с.о.}) = 10^2 (0,1 + 0,1) = 20$ Вт.

410. Магнитный поток Φ_1 создается током возбуждения, на который реакция якоря не оказывает влияния.

411. Правильно. Этот угол тем больше, чем больше активная составляющая тока холостого хода трансформатора.

412. М. д. с. практически не изменится.

413. Правильно. При изменении тока нагрузки магнитный поток в сердечнике трансформатора практически не меняется, а также и создающая этот поток м. д. с.

414. При изменении напряжения короткого замыкания трансформатора коэффициент мощности практически не меняется.

415. Правильно.

416. Обмотки трансформатора типа ТСМА изготавливают из алюминия.

417. Это первый частичный шаг.

418. Это формула э. д. с., которая индуцируется в одном проводнике обмотки.

419. При отсутствии насыщения результирующее магнитное поле искажается, но не меняется по величине.

420. Это замедленная коммутация.

421. Ток определите из формулы $P_n = U_n I_n$.

422. В этом случае уменьшится ток возбуждения и напряжение генератора.

423. Правильно. Напряжение генератора с ростом нагрузки увеличивается, компенсируя падение напряжения в линии.

424. Правильно. Серьезным недостатком является также большой ток короткого замыкания.

425. Правильно. Результирующий магнитный поток увеличился, скорость двигателя уменьшилась.

426. В этом случае изменение тока мало сказывается на величине напряжения.

427. Правильно. Для преодоления моментов статического трения и сопротивления загустевшей смазки требуется большой пусковой момент.

428. Это одно из условий режима холостого хода трансформатора.

429. Правильно: $x_1 = k^2 x_2 = 0,5^2 \cdot 10 = 2,5 \text{ Ом}$.

430. Правильно. В обмотках протекают вихревые токи, а потери в стали сердечника настолько малы, что ими пренебрегают.

431. Воспользуйтесь формулой $\Delta U = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2$.

432. Правильно.

433. Правильно, необходимо учитывать увеличение объема масла при повышении температуры.

434. Правильно.

435. Правильно. Секцией называют часть обмотки якоря, заключенную между двумя коллекторными пластинами, следующими друг за другом по схеме обмотки.

436. Напряжение на нагрузке изменяется, так как изменяется падение напряжения внутри обмоток трансформатора.

437. Направление тока I изменяется в зависимости от того, в каком режиме работает машина.

438. Правильно. При изменении нагрузки физическая нейтраль меняет свое положение, что сопровождается усилением искрения.

439. Учтите, что щетки окажутся не на физической нейтральной.

440. Ток короткого замыкания значительно меньше критического тока.

441. Виток займет положение, при котором его плоскость будет перпендикулярна магнитным силовым линиям.

442. Пусковой реостат включается в цепь якоря (а не в цепь возбуждения).

443. Вращающий момент двигателя пропорционален квадрату тока.

444. Воспользуйтесь формулой $P_{\text{эл}} = I_n^2 (R_n + R_{\text{с.о.}})$.

445. Э. д. с. питающая цепь возбуждения, создается только за счет магнитного потока Φ_2 , не меняющегося при изменениях сварочного тока.

446. Помните, что при уменьшении тока во вторичной обмотке пропорционально уменьшается ток первичной обмотки.

447. Правильно. Мощность P_H возрастает при увеличении напряжения U_H по закону параболы.

448. Чтобы уравнять потенциалы основных частей трансформатора.

449. Изучите более внимательно расположение вводов трансформатора.

450. Определите вначале номинальный ток по формуле $I_H = \frac{S_H}{U_H}$, а затем воспользуйтесь указанием, согласно которому ток холостого хода составляет 3% от номинального тока.

451. Для определения результирующего шага нужно найти разность номеров пазов, в которых уложены начала первой и второй секций.

452. Вы не учли, что проводники обмотки образуют параллельные ветви.

453. Реакция якоря искажает магнитное поле полюсов.

454. Правильно.

455. Правильно. Номинальный ток определяем по формуле $I_H = \frac{P_H}{U_H}$.

456. Правильно. Ток возбуждения при уменьшении r_2 увеличится и напряжение генератора поднимется до прежнего уровня.

457. Воспользуйтесь формулой $U = E - I_H R_{с.л} - I_{нр} R_{с.л}$, где ток нагрузок $I_{нр} = I_H - I_{ш.х} = 50 - 2 = 48$ А.

458. Вращающий момент пропорционален произведению магнитного потока на ток якоря.

459. Скорость изменилась, так как изменился результирующий магнитный поток возбуждения генератора.

460. Правильно. Например, при снижении напряжения от $\frac{U_0}{2}$ до 0 ток почти не изменяется.

461. При отсутствии механической нагрузки на валу двигатель последовательного возбуждения идет «вразнос».

462. Это одно из условий режима холостого хода трансформатора.

463. Вот правильное решение: $z_1 = k^2 z_2 = 0,5^2 \cdot 10 = 2,5$ Ом.

464. Ваттметр учитывает также потери в меди вторичной обмотки.

465. $\Delta U = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2 = 3 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,6 = 6$ В.

466. Вы перепутали названия трансформаторов.

467. В расширитель вытесняется избыток масла, расширяющегося при нагревании.

468. Раздастся сигнал тревоги.

469. Коллекторные пластины, между которыми заключена секция, не обязательно являются соседними на коллекторе.

470. В этих пазах лежит пятая секция.

471. Учтите, что при уменьшении нагрузки физическая нейтраль изменит свое положение.

472. Правильно, э. д. с. остаточного магнетизма не зависит от тока нагрузки генератора.

473. Применяя правило левой руки, убеждаемся, что направление сил, действующих на виток, не изменится.

474. Правильно. Находим $R_H + R_{\text{рест}} = 5$ Ом, следовательно $R_{\text{рест}} = 5 - 0,1 = 4,9$ Ом.

475. Правильно. Момент пропорционален квадрату тока.

476. Правильно. $P_{\text{эл}} = I_H^2 R_H + I_B U = 10^2 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 100 = 30$ Вт.

477. Правильно. Магнитный поток добавочных полюсов практически не изменяется при изменении сварочного тока.

478. Магнитный поток практически не изменится.

479. При коротком замыкании ток в первичной обмотке прямо пропорционален подведенному напряжению.

480. Вводы А и О расположены у одного и того же края крышки.

481. Правильно. $I_H = \frac{S_H}{U_H} = \frac{25}{10} = 2,5$; $I_0 = 0,03 I_H = 0,03 \cdot 2,5 = 0,075$ А.

482. При шаге обмотки по коллектору, равном единице, начало и конец секции были бы припаяны к соседним коллекторным пластинам.

483. Вы неправильно определили результирующий шаг и шаг обмотки по коллектору.

484. Правильно. Каждая параллельная ветвь содержит $\frac{N}{2a}$ последовательно соединенных проводников.

485. Это следствие реакции якоря при палиции насыщения магнитной системы машины.

486. Правильно. В случае ускоренной коммутации плотность тока под набегающим краем щетки повышается.

487. Правильно.

488. Правильно. $U = E - I_a R_a - I_{\text{нг}} R_{c.o} = 125,2 - 50 \cdot 0,1 - 48 \cdot 0,1 = 115,4$ В.

489. Правильно. Полагая $I_{я1} = 2I_a$, $\Phi_1 = 2\Phi$. Тогда $M_1 = c_M I_{я1} \Phi_1 = c_M \cdot 2I_a \cdot 2\Phi = c_M 4I_a \Phi = 4M$.

490. Правильно.

491. Сварочные генераторы имеют сравнительно небольшую мощность.

492. Таким было бы приведенное значение полного сопротивления вторичной обмотки трансформатора при $k = 1$.

493. Правильно. $z_k = \frac{U_k}{I_k}$; $r_k = \frac{P_k}{I_k^2}$.

494. Правильно: $\Delta U = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2 = 3 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,6 = 6$ В.

495. Укажите более простой способ.

496. Сигнал тревоги раздается, когда стрелка термометрического сигнализатора достигнет желтого передвижного указателя.

497. Это неполный ответ.

498. Правильно.

499. Правильно. Э. д. с. уменьшается, так как уменьшается общий магнитный поток.

500. Сердечник доопытного полюса должен быть ненасыщен.

501. Магнитный поток возбуждения с увеличением нагрузки действительно уменьшается, так как уменьшаются напряжение на зажимах генератора и ток возбуждения.

502. Подумайте, изменится ли направление сил, действующих на виток.

503. $E = 0$, следовательно $I_{\text{ц}} = \frac{U}{(R_a + R_{\text{реост}})}$. Отсюда $R_a + R_{\text{реост}} = \frac{U}{I_{\text{ц}}} = \frac{100}{20} = 5$ Ом. $R_{\text{реост}} = 5 - R_a = 5 - 0,1 = 4,9$ Ом.

504. Вращающий момент пропорционален квадрату тока.

505. Воспользуйтесь формулой $P_{\text{эл}} = I_a^2 R_a + I_a U$.

506. Э. д. с., создаваемая потоком Φ_1 , питает цепь сварки. Эта цепь подключена к щеткам А и В, расположенным на нейтраль.

507. Правильно. Магнитный поток в сердечнике трансформатора практически не зависит от тока нагрузки.

508. В режиме короткого замыкания напряжение на зажимах вторичной обмотки равно нулю.

509. $P_1 + P_2 + P_m + P_{\text{ст}} = 970 + 15 + 15 = 1000$ Вт.

510. Правильно, вводы А и О расположены справа, если смотреть на крышку трансформатора со стороны вводов низкого напряжения.

511. Это номинальный ток первичной обмотки трансформатора.

512. Правильно.

513. Правильно. Шаги определяем по формулам

$$y = y_k = \frac{s-1}{2} = \frac{15-1}{2} = 7; \quad y_1 = \frac{s}{2p} \pm b = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3; \quad y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4.$$

514. Нужно длину окружности πD якоря выразить через $2p$ и τ .

515. Это следствие реакции якоря.

516. Посмотрите консультацию 486.

517. Двигатели серии П имеют номинальную скорость 1500 об/мин.

518. Учтите, что в серийной обмотке протекает ток нагрузки $I_{\text{нг}} = I_{\text{н}} = I_{\text{н.о}} = 50 - 2 = 48 \text{ А}$.

519. Вращающий момент пропорционален и току якоря и магнитному потоку возбуждения.

520. Магнитные потери составляют часть постоянных потерь; они состоят из потерь на гистерезис и потерь на вихревые токи.

521. В процессе сварки напряжение колеблется от 0 до максимального.

522. Ток холостого хода повышается при увеличении напряжения, приложенного к первичной обмотке трансформатора.

523. Правильно. $z_2 = z_k^2 = 10 \cdot 0,5^2 = 2,5 \text{ Ом}$.

524. Воспользуйтесь формулами $z_K = \frac{U_K}{I_K}$; $r_K = \frac{P_K}{I_K^2}$.

525. Воспользуйтесь формулой $U_a\% = \frac{P_K 100}{S_{\text{н}}}$, где P_K измеряется в кВт, а $S_{\text{н}}$ — в кВА.

526. Правильно. На бачке расширителя или на стенке бака устанавливают стеклянную трубку, которая через кран сообщается с баком.

527. Правильно.

528. Активная длина обмотки барабанного якоря в 2 раза больше, чем кольцевого, а следовательно и э. д. с. в 2 раза больше.

529. При увеличении нагрузки э. д. с. и напряжение генератора уменьшаются.

530. Правильно. В этом случае магнитный поток дополнительных полюсов пропорционален току нагрузки.

531. Такую э. д. с. генератор развивает при токе возбуждения, меньшем номинального.

532. С увеличением нагрузки напряжение на зажимах генератора действительно уменьшается.

533. Воспользуйтесь правилом левой руки.

534. Правильно. $E = 0$ при $n = 0$, следовательно $I_{\text{н}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ А}$.

535. Для определения постоянных потерь достаточно из значения потерь холостого хода вычесть значение мощности цепи возбуждения.

536. Правильно. В этом случае обеспечивается постоянство сварочного тока.

537. Для рассуждения воспользуйтесь выражением трансформаторной э. д. с. $E = 4,44 \omega f \Phi_m$, положив $E \approx U_1 = \text{const}$.

538. При изменении напряжения U_K коэффициент мощности $\cos \varphi_K$ практически не изменяется.

539. Вы ошиблись. Посмотрите консультацию к первому ответу.

540. Эти вводы располагаются справа, если смотреть на крышку трансформатора со стороны вводов низкого напряжения.

541. Примите во внимание, что U_K составляет 4,5% $U_{\text{н}}$.

542. Найдите разность номеров коллекторных пластин, к которым припаяны начало и конец секции обмотки.

543. Вы неправильно определили второй частичный шаг обмотки.

544. Правильно, это выражение позволяет исключить линейную скорость v и ввести скорость n вращения рамки.

545. Правильно.

546. Коммутация прямолинейна, когда сумма коммутирующей и реактивной э. д. с. равна нулю.

547. При любом возбуждении э. д. с. генератора зависит от его скорости.

548. Правильно.

549. Правильно. $M = 9,55 \frac{P_2}{n} = \frac{9,55 \cdot 1000}{9550} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

550. Проверьте свои вычисления.

551. Правильно. Для поддержания стабильной дуги требуется постоянство тока.

552. Найдите более обоснованный ответ.

553. Мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода, увеличивается с увеличением напряжения U_1 .

554. Правильно. При умножении на действительное число направление вектора не меняется.

555. Для определения сопротивления r_K воспользуйтесь формулой $r_K = \frac{P_K}{I_K^2}$.

556. Правильно. $U_n\% = \frac{P_K 400}{S_n} = \frac{3 \cdot 400}{400} = 3\%$.

557. Бак трансформатора сообщается с баком расширителя и стеклянной трубкой маслоуказателя при помощи кранов.

558. Реле отключит трансформатор от сети.

559. В этих пазах лежат вторая секция.

560. Вспомните, что результирующий магнитный поток уменьшится. Реакция якоря размагничивает генератор и снижает его э. д. с.

561. В этом случае магнитный поток дополнительных полюсов не будет пропорционален току нагрузки.

562. Правильно. Номинальный ток и номинальное напряжение соответствуют перегибу характеристики холостого хода.

563. Реакция якоря действительно уменьшает э. д. с. генератора.

564. Правильно. Направление движения проводников находим по правилу левой руки.

565. $E = 0$ при $n = 0$, следовательно $I_n = \frac{U}{R_n}$.

566. Правильно. Постоянные потери равны потерям холостого хода за вычетом потерь в цепи возбуждения.

567. Это не основное отличие. Принципиально важно, чтобы магнитный поток Φ_2 был постоянным.

568. Вы ошиблись в знаке.

569. Правильно, ток в первичной обмотке линейно возрастает при увеличении приложенного напряжения.

570. Правильно. $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_m + P_{ст}} = \frac{970}{970 + 15 + 15} = 0,97 = 97\%$.

571. Правильно. $U_K = 0,045 U_n = 0,045 \cdot 10\,000 = 450$ В.

572. Для определения шага обмотки по коллектору нужно найти разность номеров коллекторных пластин, к которым припаяны начало и конец секции обмотки.

573. Вы неправильно определили первый частичный шаг обмотки.

574. Это неравенство не позволяет выразить линейную скорость v через скорость вращения n , что требуется по логике вывода.

575. Это следствие реакции якоря, вызывающей искажение магнитного поля.

576. Ускоренная коммутация наблюдается, когда $e_K > e_p$.

577. Правильно. Э. д. с. генератора пропорциональна его скорости.

578. Регулирующую характеристику снимают при постоянном напряжении на зажимах генератора (не нагрузки).

579. Вы упустили из виду, что в формулу $M = 9,55 \frac{P_2}{n}$ мощность подставляется в ваттах.

580. Проверьте свои вычисления.

581. Правильно. При этом генератор работает в режиме короткого замыкания.

582. Правильно. В первом случае уменьшаются потери в линии электропередачи, во втором — упрощается изоляция и снижается опасность поражения электрическим током людей и животных.

583. При некоторых условиях — можно.

584. Правильно.

585. При умножении на действительное число направление вектора не меняется.

586. Вы неправильно вычислили. $x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}$.

587. Вы ошиблись. $U_a\% = \frac{P_r \cdot 100}{S_H} = \frac{3 \cdot 100}{100} = 3\%$.

588. Правильно. Холоднокатаная сталь имеет большую магнитную проницаемость и малые удельные потери.

589. Правильно. Расширитель и маслоуказатель сообщаются с баком при помощи кранов.

590. Предохранитель защищает сеть низкого напряжения от короткого замыкания на обмотку высокого напряжения.

591. Паз, где лежит конец секции, отстоит на величину первого частичного шага от начала секции.

592. У двигателя магнитная индукция увеличивается под набегающим краем полюса.

593. Правильно. Дополнительные полюса при любой нагрузке компенсируют магнитное поле якоря в зоне коммутируемой секции.

594. Такую э. д. с. машина развивает при токах возбуждения, значительно больших номинального.

595. Правильно. У генератора с параллельным возбуждением ток короткого замыкания меньше критического тока.

596. Правилем буравчика определяется направление силовых линий магнитного поля, возникающего вокруг проводника с током.

597. В момент пуска $E = 0$, следовательно, $I_H = \frac{U}{R_H} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ А}$.

598. Постоянные потери не равны потерям холостого хода.

599. Правильно. Это видно из внешней характеристики генератора.

600. Трансформатор, у которого напряжение на выходе больше, чем на входе, называется повышающим.

601. Правильно.

602. В режиме короткого замыкания $U_2 = \text{const} \approx 0$.

603. Напряжение короткого замыкания трансформаторов такой мощности составляет 4,5% номинального.

604. Вы неправильно определили номер коллекторной пластины, к которой припаяно начало второй секции.

605. Это равенство не позволяет выразить магнитный поток в явном виде, что требуется логикой вывода.

606. Щетки надо сместить на физическую нейтраль.

607. Правильно, замедленная коммутация возникает при $e_p > e_k$.

608. Э. д. с. увеличивается ровно в 2 раза.

609. Правильно. Магнитный поток силовой обмотки компенсирует размагничивающее действие реакции якоря.

610. Воспользуйтесь формулой $M = 9,55 \frac{P_2}{n}$.

611. Правильно. $P_r = \frac{\sigma_r f B^2}{100} = \frac{4 \cdot 100 \cdot 1}{100} = 4 \text{ Вт/кг}$.

612. Сопротивление уменьшается до нуля, генератор работает в режиме короткого замыкания.

613. Помните, что потери в меди пропорциональны квадрату тока.

614. Правильно. На изгибе кривой намагничивания ток и магнитный поток связаны нелинейной зависимостью.

615. Это правильный, но неполный ответ.

616. Падение напряжения, создаваемое током на активном сопротивлении, совпадает по фазе с током.

617. Правильно. $x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{5^2 - 3^2} = 4 \text{ Ом}$; $\cos \varphi_k = \frac{P_k}{U_k I_k} = \frac{3}{5 \cdot 1} = 0,6$.

618. Правильно. Находим $U_p\% = \sqrt{(U_k\%)^2 - (U_a\%)^2} = \sqrt{5^2 - 3^2} = 4\%$; затем применяем формулу $\Delta U\% = U_a\% \cos \varphi_2 + U_p\% \sin \varphi_2 = 3 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,6 = 4,8\%$.

619. Холоднокатаная сталь предпочтительнее, она имеет малые удельные потери и большую магнитную проницаемость.

620. Кран расширителя, кран маслоуказателя.
621. Посмотрите консультацию 651.
622. Конец секции лежит в нижней части паза, отстоящего от начала секции на величину первого частичного шага.
623. Правильно. У генератора магнитная индукция увеличивается под убегающим краем полюса.
624. Положение щеток пришлось бы менять при каждом изменении нагрузки.
625. Положите $I_B = 0$ и найдите э. д. с. непосредственно из графика.
626. Это внешняя характеристика генератора с независимым возбуждением.
627. Правильно. Если силовые линии магнитного поля упираются в ладонь левой руки, а четыре пальца совпадают по направлению с током, то отогнутый большой палец показывает направление силы.
628. Вы не учли падения напряжения на активном сопротивлении цепи якоря.
629. Постоянные потери меньше потерь холостого хода.
630. Строгого постоянства тока достигнуть не удастся.
631. Правильно, напряжение на выходе больше, чем на входе.
632. Синусоидально изменяющиеся величины можно складывать только в векторной форме.
633. Правильно. Этот факт можно вывести из закона электромагнитной индукции, если учесть, что ток и магнитный поток совпадают по фазе.
634. С увеличением напряжения U_K мощность P_K возрастает по параболическому закону.
635. Вот правильное решение: $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{40}{0,4} = 25$.
636. Вы неправильно определили номер коллекторной пластины, к которой припаян конец первой секции.
637. Правильно. Это равенство позволяет выразить индуктируемую э. д. с. через магнитный поток машины.
638. Правильно. Щетки надо сместить на физическую нейтраль.
639. В этом случае коммутлирующая э. д. с. имеет тот же знак, что и реактивная э. д. с., следовательно $e_p + e_K \neq 0$.
640. В случае встречного включения обмоток возбуждения э. д. с. и напряжение генератора при увеличении нагрузки резко падают.
641. Правильно. В генераторе $E = U + I_A R_A$, в двигателе $U = E + I_A R_A$.
642. Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемагничивания, которая пропорциональна скорости вращения якоря.
643. Сопротивление уменьшается до нуля.
644. Электроэнергию на дальние расстояния можно передавать и постоянным током высокого напряжения.
645. Вы правы. Это свойство вытекает из того факта, что магнитная проницаемость воздуха — величина постоянная.
646. Это правильный, но неполный ответ.
647. Падение напряжения, создаваемое током на индуктивном сопротивлении, опережает ток по фазе на 90° .
648. $\cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_K I_K} = \frac{3}{5 \cdot 4} = 0,6$.
649. Вы не учли $U_p \%$. Посмотрите консультацию 618.
650. Холоднокатаная сталь имеет большую магнитную проницаемость, поэтому для создания заданной индукции требуются меньшие ампер-витки, чем в случае б.
651. Правильно, предохранитель защищает сеть низкого напряжения от появления в ней высокого напряжения.
652. Правильно. Конец первой секции и начало второй секции припаяны к одной и той же коллекторной пластине.
653. Так обычно записывают выражение для э. д. с. обмотки якоря, но это выражение не позволяет сделать требуемого логического перехода.
654. Ток нагрузки определяется потребляемой нагрузкой, и если он не больше номинального, то его нужно увеличивать.

655. В этом случае коммутлирующая э. д. с. равна нулю, а $e_p + e_k \neq 0$.
656. Без э. д. с. остаточного магнетизма самовозбуждение невозможно.
657. Закон Ома определяет связь между током, сопротивлением и напряжением электрической ветви: $U = IR$.
658. Вы ошиблись. В генераторе $E = U + I_{\text{я}}R_{\text{я}}$; в двигателе $U = E + I_{\text{я}}R_{\text{я}}$.
659. Правильно. Потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемагничивания, которая, в свою очередь, пропорциональна скорости вращения якоря.
660. Правильно. Генератор работает в режиме короткого замыкания.
661. Правильно. Повышать напряжение и соответственно уменьшать ток необходимо для снижения потерь в линиях электропередачи.
662. Можно, так как магнитная проницаемость воздуха — постоянная величина.
663. Правильно.
664. Правильно. В индуктивном сопротивлении ток отстает от напряжения по фазе на 90° .
665. В этом случае тепловые потери в меди обмоток несравнимо меньше потерь в стали.
666. Вы ошиблись в вычислениях. Посмотрите консультацию 618.
667. Правильно. Магнитная проницаемость горячекатаной стали меньше, чем холоднокатаной, поэтому для создания заданной индукции в случае *б* требуются большие ампер витки, чем в случае *а*.
668. Номинальные напряжения высоковольтных обмоток равны 6, 10, 20, 35 кВ и т. д.
669. Правильно. На якорь барабанного типа проще намотать обмотку, чем на кольцевой якорь, а главное, в обмотке якоря барабанного типа обе стороны каждого витка обмотки являются активными.
670. Правильно. Учитываем, что конец секции должен лежать в нижней части паза, а первый частичный шаг равен 3.
671. Для ответа на вопрос воспользуйтесь формулой э. д. с. генератора.
672. Механическая нагрузка определяется потребителем, и если она не больше номинальной, уменьшать ее не нужно.
673. Геометрическая нейтраль лежит посередине между полюсами машины.
674. Такую э. д. с. машина развивает при больших токах возбуждения.
675. Правильно. Сопротивление обмотки якоря практически не влияет на процесс самовозбуждения генератора.
676. Правильно правой руки используется для определения направления индуцированной э. д. с.
677. Правильно. $U = E + I_{\text{я}}R_{\text{я}} = 99 + 10 \cdot 0,4 = 100$ В.
678. Магнитные потери пропорциональны массе стали.
679. Проанализируйте внешнюю характеристику сварочного генератора.
680. Вы неправильно определили м. д. с. первичной обмотки при холостом ходе трансформатора.
681. Э. д. с. рассеяния отстает по фазе от тока I_2 и совпадающего с ним по фазе магнитного потока рассеяния.
682. При номинальной нагрузке трансформатор нагреется больше, чем в двух предыдущих случаях.
683. Правильно. При внутренней установке трансформатора можно не промазывать магнетиальным цементом места соединения деталей.
684. Правильно. $k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10}{0,4} = 25$.
685. Для ответа на вопрос к номеру коллекторной пластины, припаянной к началу первой секции, прибавьте шаг по коллектору.
686. Э. д. с. прямо пропорциональна скорости вращения генератора.
687. Правильно. Нужно совместить щетки с физической нейтралью.
688. Правильно. В этом случае коммутлирующая э. д. с. противоположна по знаку реактивной э. д. с. и можно получить компенсацию: $e_p + e_k \approx 0$.
689. При неправильной полярности тока в обмотке возбуждения генератор не возбуждается.

690. Правильно. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, определяется законом Ампера: $F = I l B$.
691. Вы ошиблись. В двигателе $E = U - I_n R_n = 100 - 10 \cdot 0,1 = 99$ В.
692. Найдите более конкретный ответ.
693. Уменьшается до нуля. Генератор работает в режиме короткого замыкания.
694. Большинство электронагревательных приборов можно питать как переменным, так и постоянным током.
695. Вы неправильно определили м. д. с. первичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода.
696. Этот вектор опережает вектор тока на 90° .
697. В этом случае тепловые потери в стали несравненно меньше потерь в меди обмоток.
698. К. п. д. трансформатора $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{980}{1000} = 0,98$ или 98%.
699. Вы ошибаетесь. Посмотрите консультации к первому и второму ответам.
700. Правильно. Обмотки низшего напряжения трансформаторов рассчитываются на напряжения 0,4, 0,69, 3,15, 6,3, 10,5 кВ.
701. Кольцевой якорь сложен в изготовлении и малоэффективен, так как э. д. с. индуцируется только в одной стороне каждого витка.
702. Если начало секции уложено в верхней части паза, то конец секции располагается в нижней части другого паза.
703. Правильно. При прочих равных условиях $E \propto n$.
704. Щетки надо повернуть в сторону смещения физической нейтралли.
705. Правильно. При изменении нагрузки прямоугольность коммутации нарушается.
706. Правильно. Э. д. с. определяется непосредственно по графику при условии, что ток возбуждения равен нулю.
707. Если сопротивление обмотки возбуждения больше некоторого критического значения, то генератор не возбуждается.
708. Закон электромагнитной индукции определяет связь между скоростью изменения магнитного потока и индуцируемой э. д. с. (индуцируемым током).
709. Правильно. $E = U - I_n R_n = 100 - 10 \cdot 0,1 = 99$ В.
710. Правильно. Магнитные потери пропорциональны массе стали.
711. Напряжение уменьшается до нуля, так как возникает режим короткого замыкания.
712. Правильно. М. д. с. равна числу ампер-витков обмотки.
713. Э. д. с. рассеяния сдвинута по фазе относительно тока I_2 и создаваемого им магнитного потока рассеяния.
714. Правильно. При номинальном режиме существенное значение имеют как тепловые потери в меди обмоток, так и тепловые потери в стали сердечника.
715. Правильно. $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{980}{1000} = 0,98$ или 98%.
716. Посмотрите консультации к первому и второму ответам.
717. Внутренняя полость бака трансформатора наружной установки должна быть особенно тщательно изолирована от внешней среды.
718. Посмотрите ряд расчетных напряжений низковольтных обмоток трансформаторов.
719. Тонким обмоточным проводам придают круглую форму поперечного сечения, толстым — прямоугольную.
720. Большую нагрузку берет на себя тот трансформатор, э. д. с. которого больше.
721. При холостом ходе ток в нагрузке равен нулю.
722. Правильно. Средний стержень играет роль магнитного шунта.
723. Эту часть машины называют якорем.
724. Для ответа на вопрос недостаточно данных, так как неизвестно число полюсов генератора.
725. Правильно. В четырехполюсной машине один пространственный градус равен двум электрическим.

726. Учтите, что изменяются напряжение возбуждителя и ток индуктора.

727. Правильно. Величина магнитного потока не меняется.

728. Это уравнение э. д. с. синхронного генератора с явно выраженными полюсами.

729. Вы ошиблись в вычислениях. Вот правильное решение: $x_{\text{рс}} = \frac{I_{\text{нрс}}}{I_{\text{н.ф}}} = \frac{10 \cdot 0,127}{127} = 0,01$. Кроме того, не забывайте, что относительные единицы безразмерны.

730. Правильно. В случае *a* номинальное напряжение установлено при номинальном токе, после чего нагрузка уменьшается; в случае *б* номинальное напряжение установлено при холостом ходе, а нагрузка увеличивается.

731. Вспомните, что векторы напряжений параллельно работающим генераторов должны быть сдвинуты по фазе на 180° .

732. Правильно. Демпфирующая обмотка ускоряет затухание колебаний ротора синхронного генератора, возникающих после резкого изменения нагрузки.

733. Правильно. Знак над чертой показывает способ соединения фаз первичной обмотки трансформатора, под чертой — вторичной.

734. Эта величина в трансформаторах типа ТМН равна 1,5% или 1,25%.

735. Правильно. По этой части витков протекает разность токов.

736. Изучите способы плавного и ступенчатого регулирования тока в сварочных преобразователях.

737. Правильно.

738. Правильно. На полюсное деление приходится $72 : 4 = 18$ пазов, следовательно угол между пазами в электрических градусах равен $180 : 18 = 10^\circ$.

739. Найдите фазовый шаг и прибавьте его к номеру паза, в котором лежит начало первой фазы.

740. Вы не указали обмотку якоря возбуждителя.

741. При активной нагрузке и насыщенном магнитопроводе поток реакции якоря несколько уменьшает магнитное поле машины.

742. Правильно. Не зная значений $I_{\text{н}}$ и $I_{\text{вк}}$, нельзя найти U_0^* и $I_{\text{н}}^*$, зависимость между которыми и называется нормальной характеристикой холостого хода.

743. Характеристики сняты различными способами.

744. Правильно. Если лампы, включенные «на погасание», загораются и гаснут поочередно, то порядок следования фаз генераторов не одинаков.

745. Правильно, реактор ограничивает величину тока в короткозамкнутой части обмотки.

746. Вспомните, что отношение токов обратно пропорционально отношению сопротивлений короткого замыкания.

747. Разве величина потерь и толщина провода пропорциональны?

748. Правильно. Наличие двух вторичных обмоток позволяет получить два различных напряжения на выходе трансформатора: 35 и 10 кВ.

749. Правильно. Нецелесообразно и затруднительно большой ток нагрузки генератора пропускать через скользящие контакты.

750. Учтите, что число пар полюсов $p = 2$.

751. Вы неправильно определили полюсное деление.

752. Это необходимо, но недостаточно.

753. Правильно. Если бы рабочая точка находилась на линейном участке кривой намагничивания, происходило бы только искажение магнитного поля.

754. Правильно. В опыте короткого замыкания синхронный генератор работает на индуктивную нагрузку (внутреннее сопротивление обмотки).

755. Вы ошиблись. Вот правильное решение: $\Delta U = U_{\text{н}} - U' = 230 - 207 = 23 \text{ В}$; $\Delta U \% = \frac{23}{230} = 0,1 = 10\%$.

756. Эти лампы включены «на вращение света».

757. Правильно. В синхронном двигателе ротор и магнитное поле статора вращаются с одинаковой скоростью: $n_2 = n_1 = n$.

758. Правильно. При холостом ходе модули векторов фазных напряжений нагрузки пропорциональны модулям соответствующих векторов фазных напряжений сети.

759. Правильно. Первичные обмотки трансформаторов (как и вторичные) соединены параллельно.

760. Помните во внимание, что при увеличении тока напряжение трансформатора уменьшается тем больше, чем больше его сопротивление короткого замыкания.

761. Правильно. В этих случаях автотрансформаторы не применяют.

762. Линейные напряжения второй и третьей обмоток сдвинуты по фазе относительно линейного напряжения первой обмотки на один и тот же угол, а между собой совпадают по фазе.

763. Правильно.

764. Вы неправильно определили шаг обмотки: $y = \frac{5}{6} \tau$.

765. Правильно. Ток возбуждателя не увеличивает, а уменьшает магнитное поле индуктора до нуля.

766. К таким следствиям приводит реакция якоря при чисто активной нагрузке и ненасыщенном магнитопроводе.

767. Вы перепутали направления рассматриваемых векторов.

768. Правильно. При построении этой диаграммы раскладываем вектор E_n на поперечную и продольную составляющие.

769. Результирующая м. д. с. не может быть равна м. д. с. реакции якоря.

770. Необходимо выполнение трех условий: $\omega = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $U = \text{const}$.

771. Это только первый этап, выполняемый при включении генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации.

772. Такой была бы группа соединений при встречной намотке фазных обмоток.

773. Правильно.

774. Приведенные данные позволяют найти коэффициенты трансформации всех трех трансформаторов.

775. Помните, что токи трансформаторов обратно пропорциональны их сопротивлениям короткого замыкания.

776. Если сеть подключить к зажимам A_X , а нагрузку — к зажимам ax , автотрансформатор будет понижющим.

777. Правильно. В этом случае мощность, отдаваемая трансформатором, равна нулю.

778. Вы перепутали области применения явнополюсных и неявнополюсных роторов.

779. Правильно. Сравнивая выражения, приведенные в условии задачи, находим $2\pi\tau = \pi D$ или $\tau = \frac{\pi D}{2p}$.

780. Для ответа на вопрос прибавьте фазовый шаг к номеру паза, в котором лежит начало первой фазы.

781. Правильно. С повышением нагрузки увеличивается размагничивающее действие реакции якоря.

782. Воспользуйтесь формулой $E_n = I_{\Sigma} X_d$.

783. Неверно. В точке A насыщение больше, чем в точке B .

784. Опережает на угол, равный 90° .

785. Для поддержания напряжения синхронного генератора постоянным при увеличении индуктивной или активной нагрузки ток возбуждения надо увеличивать.

786. Правильно. Уравнительный ток протекает только по обмоткам генераторов и проводам линии, активным сопротивлением которых можно пренебречь.

787. Такой была бы группа соединений при согласной намотке фазных обмоток.

788. Учтите, что обмотки трансформатора обладают индуктивным сопротивлением.

789. Неизвестно, выполняются ли другие условия параллельной работы.
 790. Если группы соединений обмоток одинаковы, то — можно.
 791. Этот недостаток присущ автотрансформаторам.
 792. Когда обе вторичные обмотки разомкнуты, трехобмоточный трансформатор работает в режиме холостого хода.
 793. Мощные синхронные генераторы рассчитываются на большее напряжение.
 794. Сделайте проверку, подставив эти выражения в формулу закона электромагнитной индукции $e = Blv$.
 795. Влияние пятой гармоники э. д. с. ослабляется за счет укорочения шага обмотки.
 796. Магнитное поле генератора уменьшается при увеличении индуктивной нагрузки.
 797. Правильно. $E_{сх}$ равна сумме э. д. с. реакции якоря и э. д. с. рассеяния.
 798. Правильно. Э. д. с. генератора больше его напряжения на величину падения напряжения в обмотке якоря.
 799. Правильно. Повторите порядок определения $I_{в.я.}$.
 800. Это правильный, но неполный ответ.
 801. Учтите, что уравнивающий ток не протекает через сопротивление нагрузки.

802. Правильно. Из графика находим $M_H = M_{\max} \sin 30^\circ = \frac{1}{2} M_{\max}$. Следовательно, максимальный момент в 2 раза больше номинального.

803. Примите во внимание, что $M_H = M_{\max} \sin \Theta = M_{\max} \sin 30^\circ$.

804. Кривая 2 выражает зависимость мощности, потребляемой двигателем из сети, от мощности, развиваемой на валу: $P_1 = f(P_2)$.

805. Правильно. Угол сдвига по фазе между линейными напряжениями первичной и вторичной цепи равен нулю.

806. Правильно. Пятипроцентная норма смещения нулевой точки не будет превышена при выполнении двух указанных условий.

807. Правильно. Этот ток называют уравнивающим.

808. Еще раз просмотрите условия параллельной работы трансформаторов.

809. Учтите, что при увеличении активной составляющей тока нагрузки напряжение на выходе трансформатора уменьшится.

810. Измерительные трансформаторы предназначены для расширения пределов измерений приборов переменного тока.

811. Это синхронный генератор с возбуждением от механических выпрямителей.

812. Воспользуйтесь формулой $E = 4,44 f w \Phi$, положив $w = 1$.

813. Задачу можно решить, не зная частоты тока.

814. Это неполный ответ.

815. Правильно: $\cos \varphi = \frac{P}{S}$, где P — активная составляющая полной мощности S .

816. Вы правы: в этом уравнении член E_{pc} — липкий.

817. Правильно.

818. Правильно. Повторите порядок определения э. д. с. холостого хода при помощи практической диаграммы э. д. с.

819. Подумайте, как должен измениться ток возбуждения, а затем решите, как надо изменить сопротивление.

820. Ток генератора отстает от напряжения сети, когда э. д. с. генератора меньше напряжения сети.

821. Правильно, изменяется только угол Θ .

822. Правильно, мощность тока, потребляемого в режиме холостого хода, расходуется на покрытие потерь.

823. Можно, так как назначение статора и в первом и во втором случае — создавать вращающееся магнитное поле.

824. Синхронный компенсатор предназначен для увеличения коэффициента мощности сети $\cos \varphi$.

825. Вспомните, что при соединении треугольником фазный ток в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного тока.

826. В обмотке низшего напряжения всегда протекает ток больший, чем в обмотке высшего напряжения.

827. Подумайте, могут ли быть одинаковы группы соединенный обмоток.

828. Правильно. При увеличении нагрузки напряжение уменьшается, поэтому надо ввести добавочную э. д. с.

829. Правильно. Каждая обмотка ваттметра должна получать питание от соответствующего измерительного трансформатора.

830. Вы ошиблись: $y = \frac{z}{2p} = \frac{24}{2} = 12$.

831. Правильно. Чтобы изменить порядок следования фаз, достаточно поменять местами любые два провода из трех.

832. Вспомните, что влияние реакции якоря на э. д. с. генератора зависит от характера нагрузки.

833. Правильно.

834. Вы забыли о влиянии реакции якоря.

835. Правильно.

836. Такой ток появится, если не выполнить условия $f_1 = f_2$.

837. Правильно.

838. Каждому значению вращающего момента, а следовательно, и нагрузки двигателя соответствует определенный угол Θ .

839. Мощность потребляемого тока идет на покрытие потерь холостого хода.

840. Выпрямленный ток, индуцируемый в дополнительной обмотке статора, используется для питания обмотки ротора.

841. Не генератор, а двигатель.

842. Правильно. Этот вывод вытекает из условия $U_{\text{с}} \approx 4,44 k_{\text{обф}} \Phi = \text{const}$.

843. При соединении треугольником фазные и линейные напряжения равны между собой.

844. В понижающем трансформаторе вторичная обмотка является обмоткой низшего напряжения с относительно большим током.

845. Правильно.

846. Вы ошибаетесь. Посмотрите консультацию к первому ответу.

847. Вы перепутали режимы работы измерительных трансформаторов. Вспомните, что трансформатор тока замыкут на амперметр, внутреннее сопротивление которого мало, а трансформатор напряжения — на вольтметр с большим внутренним сопротивлением.

848. Правильно. Начало второй секции лежит рядом с началом первой секции.

849. Вспомните, что двухполюсное вращающееся магнитное поле делает один оборот в течение одного периода тока.

850. Правильно.

851. Правильно. $\Theta = \psi = \varphi = 40^\circ = 30^\circ + 10^\circ$.

852. Вы неправильно определили положение вектора результирующей э. д. с. машины.

853. У генераторов с явно выраженными полюсами $k_{\text{обфд}} = 1,0 \div 1,4$.

854. Уравнительный ток с большой активной составляющей появляется в том случае, когда векторы напряжений включаемых на параллельную работу синхронных генераторов сдвинуты по фазе на угол, не равный 180° .

855. Именно этот угол между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока принято обозначать буквой Θ .

856. Вы ошиблись: $U_{\text{ф2}} = U_{\text{ф1}} = U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$; $U_{\text{л2}} = \sqrt{3} U_{\text{ф2}} = 380 \text{ В}$.

857. Правильно. Число витков первичной обмотки уменьшилось, напряжение на выходе трансформатора увеличилось.

858. Правильно. Таким образом, к меньшей э. д. с. добавляется э. д. с., индуцируемая уравнительным током.

859. Но тогда мощности первичной и вторичной обмоток автотрансформатора различались бы в 2 раза.

860. Правильно. Сварочный трансформатор часто работает в режиме короткого замыкания. Кроме того, при круто падающей характеристике обеспечивается почти постоянная сила тока при колебаниях руки сварщика.

861. А если произойдет пробой первичной обмотки на корпус измерительного трансформатора?

862. Учтите, что в лобовых соединениях обмотки э. д. с. не индуктируется.

863. Учтите, что напряжение синхронного генератора зависит от величины тока индуктора.

864. Правильно. В этот момент в катушке наводится максимальная э. д. с.; так как ток и э. д. с. совпадают по фазе, то и ток будет иметь максимальное значение.

865. Магнитное поле уменьшается и искажается при активно-индуктивной нагрузке.

866. Правильно.

867. Вы ошиблись: $I_{в.н} = I_{в.к} k_{о.к.э} = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6$.

868. Вспомните, к каким последствиям приводит включение на параллельную работу синхронных генераторов, у которых напряжения не находятся строго в противофазе.

869. Угол θ изменяется при изменении активной мощности P , следовательно, тормозного момента, создаваемого генератором на валу приводного двигателя.

870. Этот способ в настоящее время находит все большее применение.

871. Скорость синхронного двигателя не зависит от момента нагрузки, если $M < M_{\max}$.

872. В этом случае напряжение на выходе понизится.

873. Найдите более полный ответ.

874. Правильно.

875. Учтите, что индуктивное сопротивление дросселя уменьшится.

876. Воспользуйтесь формулой $f = \frac{p n}{60}$, учитывая, что в двухполюсном генераторе число пар полюсов $p = 1$.

877. Вы неправильно определили полюсное деление.

878. Укажите также смещение обмоток в электрических градусах.

879. Проследите более внимательно цепь обмотки возбуждения.

880. В этом положении статоры катушки находятся в областях, где магнитное поле отсутствует.

881. Рассмотрите составляющие м. д. с. реакции якоря.

882. Правильно.

883. Вы неправильно определили величину тока в относительных единицах.

884. Необходимо выполнение трех условий: $I_n = \text{const}$, $\omega = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$.

885. Вы неправильно представляете себе действие активной составляющей уравнительного тока.

886. Правильно, вследствие инерционности ротора и магнитного поля возникает колебательный процесс.

887. Зависимость $P_1 = f(P_2)$ нелинейна.

888. После вхождения двигателя в синхронизм колебания стрелки прекращаются.

889. Правильно. Для двигателя серии СО $M_{\max} = 1,4 M_n$, следовательно по условию задачи двигатель нагружен моментом, большим максимального.

890. Практически не изменяясь, что вытекает из условия $4,44 k_{оф} w \Phi = \text{const}$.

891. Этого достаточно только в том случае, когда двигатель работает в режиме холостого хода.

892. Правильно. $\varphi_1 = \arccos \frac{1}{2} = 45^\circ$; $\varphi_2 = \arccos 1 = 0^\circ$;

$$Q = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 1000 (\operatorname{tg} 45^\circ - \operatorname{tg} 0^\circ) = 1000 \text{ кВар.}$$

893. Вы ошиблись, посмотрите правильное решение в консультации к первой строке ответов.

894. Правильно, при переключении подвижный контакт замкнул бы на короткую часть витков, подсоединенную к верхнему и среднему неподвижным контактам.

895. Если разница коэффициентов трансформации не превышает 0,5% их среднего геометрического значения, трансформаторы можно включить на параллельную работу.

896. Правильно. Полагая $I_2 = 0$ в уравнении $\bar{I}_p = \bar{I}_2 - \bar{I}_1$, получаем $\bar{I}_p = -\bar{I}_1$.

897. Правильно. При переключении обмоток со схемы «звезда» на схему «треугольник» ток увеличивается скачкообразно. Постепенное сближение катушек сопровождается плавным увеличением сварочного тока.

898. Эта часть машины называется статором.

899. Правильно. Неизвестно число полюсов генератора.

900. Правильно: $y = \frac{z}{2p} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$; затем прибавляем найденный шаг к номеру паза, в котором лежит начало катушки.

901. Посмотрите более внимательно схему синхронного генератора с машинным возбуждением.

902. Учтите, что магнитопровод не насыщен.

903. Вспомните, что нормальная характеристика холостого хода строится в относительных единицах.

904. При сбросе индуктивной нагрузки напряжение синхронного генератора повышается, а не понижается.

905. Правильно, нулевое показание вольтметра свидетельствует о том, что напряжения генераторов находятся строго в противофазе (сдвинуты по фазе на 180°).

906. Правильно. В рассматриваемом случае возможен резонанс колебаний и выпадение генератора из синхронизма.

907. Правильно.

908. Обратите внимание на способы соединения фаз первичной и вторичной обмоток трансформатора.

909. Правильно. Регулирование осуществляется в пределах $\pm 8 \times 1,25\%$.

910. Вы ошиблись. Вот правильное решение: $z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ Ом}$.

911. А почему размеры магнитопровода меньше?

912. Правильно.

913. В этом случае ток нагрузки генератора проходил бы через скользящий контакт между щетками и кольцами, что нецелесообразно.

914. Учтите, что вектор, изображающий э. д. с., индуцируемую в четырехполюсном генераторе, поворачивается 2 раза за один оборот ротора генератора.

915. Вы неправильно определили номер паза, в котором лежит начало второй катушки первой фазы.

916. Правильно.

917. Это неполный ответ.

918. Вспомните определение характеристик холостого хода и короткого замыкания.

919. Правильно. При снятии характеристики на понижение напряжения номинальное напряжение устанавливается при холостом ходе; при снятии характеристики на повышение напряжения номинальное напряжение устанавливается при номинальной нагрузке.

920. В схеме «на потасание» провода от ламп присоединяют к одноименным фазам.

921. Три катушки соответствуют вращающемуся магнитному полю с двумя полюсами, шесть катушек — четырехполюсному магнитному полю. Следовательно, в рассматриваемом случае число пар полюсов $p = 2$.

922. Задержка переключения не может ограничить колебаний напряжения.

923. Правильно. Чем больше сопротивление короткого замыкания, тем больше падает напряжение при увеличении тока.

924. Лабораторные автотрансформаторы типа ЛАТР находят широкое применение.

925. Трехобмоточный трансформатор имеет две вторичных обмотки, что позволяет получить два различных напряжения на выходе: 35 и 40 кВ.

926. Способ самовозбуждения синхронного генератора через выпрямители находит практическое применение.

927. Число пар полюсов $p = 2$, поэтому электрических градусов в 2 раза больше, чем пространственных.

928. Правильно. $\tau = \frac{z}{2p} = \frac{36}{2 \cdot 3} = 6$; $q = \frac{z}{2pm} = \frac{36}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 2$.

929. Правильно. Э. д. с. остаточного магнетизма равна нулю, самовозбуждение генератора невозможно.

930. Учтите, что при индуктивной нагрузке ток отстает по фазе от э. д. с.

931. Для построения диаграммы необходимо вектор $E_{сх}$ представить в виде суммы двух векторов: $E_{сх} = E_{я} + E_{рс}$.

932. Вспомните, что активное сопротивление обмотки якоря много меньше ее индуктивного сопротивления.

933. Это условие необходимо, но недостаточно.

934. Можно. Мигание лампы свидетельствует о неравенстве скоростей вращения генераторов.

935. Для решения задачи нет необходимости знать число пар полюсов.

936. Правильно.

937. Вы ошиблись. Вот правильное решение: $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500$ об/мин.

938. Правильно. Векторы линейных напряжений первичной и вторичной цепи направлены встречно.

939. Правильно.

940. Напряжения холостого хода параллельно включенных трансформаторов должны быть равны между собой, иначе потечет большой уравнивающий ток.

941. Правильно, чем меньше сопротивление короткого замыкания, тем больше нагружен трансформатор.

942. Подумайте, как изменился коэффициент трансформации.

943. Правильно. Линейные напряжения второй и третьей обмоток сдвинуты по фазе относительно линейного напряжения первой обмотки на одна и тот же угол 30° , а между собой совпадают по фазе.

944. Правильно. В сердечнике, набранном из отдельных листов, величина вихревых токов и тепловые потери меньше, чем в сплошной отливке.

945. Это закон Ома.

946. Правильно. Составьте схему рассматриваемой обмотки.

947. Примите во внимание, что при изменении нагрузки генератора изменяется ток в обмотках трансформатора, от которых через выпрямители питается индуктор.

948. Правильно. При индуктивной нагрузке магнитное поле якоря направлено навстречу магнитному полю индуктора.

949. Воспользуйтесь законом Ома.

950. Характеристика холостого хода генератора в другом масштабе изображает кривую намагничивания его магнитной системы.

951. В индуктивном сопротивлении ток отстает по фазе от напряжения.

952. Чтобы поддерживать напряжение синхронного генератора постоянным при увеличении емкостной нагрузки, ток возбуждения надо уменьшать.

953. Это только третий заключительный этап включения синхронных генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации.

954. Правильно. Угол между векторами линейных напряжений первичной и вторичной цепей равен 150° .

955. Положение точек a , b , c изменяется при изменении величины нагрузки.

956. Если выполнены все другие условия параллельной работы, то рассматриваемые трансформаторы можно включить параллельно.

957. Найдите разницу напряжений короткого замыкания трансформаторов и сравните с допустимой.

958. Правильно. Трехфазные автотрансформаторы изготавливаются и находят применение (например, при пуске асинхронных двигателей).

959. Правильно. Опыт короткого замыкания проводят трижды, в каждом случае оставляя разомкнутой одну обмотку трехобмоточного трансформатора.

960. Учтите, что при прочих равных условиях чем больше зазор, тем меньше величина магнитной индукции.

961. Сравнивая приведенные выражения, находим $\frac{I^n}{\cos} = I$, откуда $n = \frac{60f}{p}$.

962. Расчетная величина э. д. с. генератора обеспечивается выбором размеров генератора, значений магнитной индукции, скорости вращения генератора и числа витков в катушке.

963. При емкостной нагрузке магнитный поток якоря совпадает по направлению с магнитным потоком индуктора.

964. Правильно: $E_H = I_{xH} \cdot 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ В}$.

965. Вспомните, что характеристика холостого хода подобна кривой намагничивания магнитной системы генератора.

966. Еще раз внимательно проследите порядок построения практической диаграммы э. д. с.

967. Это только одна из причин, вызывающих понижение напряжения.

968. Это необходимое, но недостаточное условие.

969. Правильно. Неизвестно, выполнены ли другие условия параллельной работы трансформаторов.

970. Правильно. При одинаковых группах соединений обмоток трансформаторы можно включать параллельно.

971. При увеличении числа витков первичной обмотки напряжение у потребителя будет снижаться.

972. Многообмоточные трансформаторы находят применение в радиотехнике, автоматике.

973. Это синхронный генератор с приводом от дизеля.

974. Вы ошиблись: $E = 4,44 f \Phi_m = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,02 = 4,44 \text{ В}$.

975. Вы ошиблись: $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 3000 \text{ об./мин.}$

976. Этого недостаточно.

977. Вспомните, что при увеличении емкостной нагрузки результирующий магнитный поток генератора усиливается.

978. Эти векторы совпадают по направлению.

979. Правильно: $U_H = E_H - I_H r - I_H r_{\text{ре}}$.

980. Нужно знать значение $E_{\text{ре}}$; значение I_H знать не обязательно.

981. Вспомните, как изменяется напряжение на зажимах синхронного генератора при увеличении емкостной нагрузки.

982. Правильно.

983. Для решения задачи нет необходимости знать значения $M_{\text{макс}}$ и M_H , надо найти их отношение.

984. К. п. д. равен нулю, так как $P_2 = 0$, а $P_1 \neq 0$ (из сети потребляется мощность потерь).

985. Воспользуйтесь формулой $n = \frac{60f}{p}$, положив $p = 2$, поскольку двигатель имеет четыре полюса.

986. Синхронный компенсатор действительно несколько увеличивает к. п. д. энергосистемы, но только за счет увеличения ее коэффициента мощности. Назначение компенсатора — увеличивать $\cos \varphi$.

987. Найдите угол между векторами линейных напряжений первичной и вторичной цепей, а затем определите группу соединений обмоток.

988. Правильно. В обмотке высшего напряжения протекает ток, меньший чем в обмотке низшего напряжения.

989. Правильно, группы соединений обмоток различны.

990. Эти обмотки не рассчитаны на ток нагрузки.

991. Вспомните, что ваттметр имеет две обмотки.

992. Правильно. Только тогда, когда э. д. с. во всех витках совпадают по фазе, коэффициент распределения обмотки равен 1. Во всех остальных случаях он меньше единицы.

993. Скорость вращения магнитного поля статора равна скорости вращения ротора генератора.

994. Правильно: компаундирующее устройство изменяет ток возбуждения синхронного генератора таким образом, что при увеличении нагрузки э. д. с. увеличивается, при уменьшении нагрузки э. д. с. уменьшается, а напряжение на зажимах практически остается постоянным.

995. Если в исходном режиме работы емкостная составляющая мощности равна индуктивной составляющей, то коэффициент мощности уменьшается при увеличении емкостной составляющей.

996. Это уравнение э. д. с. для синхронного генератора с неявно выраженным полюсами.

997. Только реакцией якоря определяется разница между э. д. с. холостого хода и э. д. с. нагруженного генератора.

998. Правильно. Ток $I_{в.н}$ определяется как ток возбуждения, соответствующий номинальному напряжению при холостом ходе и номинальной скорости.

999. Правильно. Этот ток будет размагничивать один генератор и подмагничивать другой.

1000. Изменяя ток возбуждения, нельзя изменить величину активной мощности генератора.

1001. Правильно. Фазный ток в $\sqrt{3}$ раз меньше тока, протекающего в проводах линии, идущей к нагрузке.

1002. Правильно.

1003. Для ответа на вопрос воспользуйтесь векторной диаграммой.

1004. Обратите внимание на то, что у первого трансформатора группа соединений обмоток либо 0, либо 6, а у второго — либо 11, либо 5.

1005. Необходимо увеличить э. д. с. вольтдобавочного трансформатора.

1006. Трансформатор напряжения работает в режиме холостого хода.

1007. Учтите, что между первым пазом и пазом, в котором лежит конец первой секции, находится 12 пазов (шаг обмотки).

1008. Правильно. При этом изменяется порядок следования фаз.

1009. Это неполный ответ.

1010. Изобразите на векторной диаграмме названные в задании векторы и определите искомый угол.

1011. Рассмотрите внимательно векторную диаграмму синхронного генератора, построенную с учетом насыщения стали.

1012. Воспользуйтесь формулой $k_{о.к.з} = \frac{I_{в.н}}{I_{в.к.}}$.

1013. Реактивный уравнительный ток появляется, когда не равны напряжения включаемых на параллельную работу синхронных генераторов.

1014. Правильно. При этом увеличивается и механическая мощность, поступающая от приводного двигателя к генератору.

1015. Изменяя ток возбуждения синхронного двигателя, нельзя изменить скорость ротора и, следовательно, сделать ее синхронной.

1016. При переключении меняется число витков вторичной обмотки, следовательно коэффициент трансформации и напряжения на выходе трансформатора.

1017. Рассмотрите более внимательно векторную диаграмму параллельно работающих трансформаторов.

1018. Правильно, вторичная обмотка имеет в 2 раза меньше витков, чем первичная обмотка автотрансформатора.

1019. Правильно.

1020. При размыкании вторичной обмотки трансформатора тока резко возрастает магнитный поток в сердечнике, и трансформатор перегревается.

1021. Величина э. д. с. не изменится так как в лобовых соединениях обмотки э. д. с. не индуцируется.

1022. Магнитное поле вращается со скоростью 50 об.с.

1023. Магнитное поле уменьшается при индуктивной нагрузке.

1024. Правильно. Величина изменения напряжения генератора определяется как разность напряжения холостого хода и напряжения при номинальной нагрузке.

1025. Вектор м. д. с. полюсов определяется из векторного уравнения $\vec{A}i_{\omega_0} = \vec{A}i_p - \vec{A}i_{\omega_0}$.

1026. У генераторов с явно выраженными полюсами $k_{0,к.э} \gg 1$.

1027. Вспомните, к каким последствиям приводит неравенство напряжений синхронных генераторов, включаемых на параллельную работу.

1028. Правильно, этот угол обычно обозначают буквой φ .

1029. Такой способ иногда применяют при пуске мощных синхронных двигателей.

1030. Обмотка ротора питается выпрямленным током дополнительной обмотки статора как при пуске, так и при рабочем режиме двигателя.

1031. Группа соединений влияет только на фазовые соотношения, которые в рассматриваемом случае не играют роли.

1032. Учтите, что трансформатор — понижающий.

1033. Что же, мощность на выходе больше, чем на входе, а к. п. д. больше единицы?

1034. Правильно, индуктивное сопротивление уменьшится, ток увеличится.

1035. Правильно: пробой изоляции может произойти как между первичной обмоткой и кожухом, так и между первичной и вторичной обмоткой.

1036. Укажите также смещение обмоток в простраивенных градусах.

1037. Наоборот, напряжение на зажимах синхронного генератора будет минимальным.

1038. В этом положении э. д. с. и ток в катушке равны нулю.

1039. Правильно. М. д. с. реакции якоря имеет и поперечную и продольную составляющие, направленные навстречу м. д. с. индуктора.

1040. Вы неправильно определили величину напряжения в относительных единицах.

1041. Одного этого условия недостаточно.

1042. Вы перепутали действия активной и реактивной составляющих уравнительного тока.

1043. Вследствие механической инерции ротора синхронного генератора угол θ не может измениться скачкообразно.

1044. Если возбуждение не включено, то стрелка амперметра может колебаться только возле нулевого положения.

1045. Учтите, что для двигателей серии СО отношение $\frac{M_{\max}}{M_N} = 1,4$.

1046. Эти клеммы не могут быть замкнуты накоротко подвижным контактом.

1047. По этой части витков протекает большой ток.

1048. При переключении обмоток со схемы «треугольник» на схему «звезда» сварочный ток резко уменьшается. При постепенном увеличении расстояния между катушками происходит плавное уменьшение сварочного тока.

1049. Ротор может быть якорем, но может быть и индуктором. В синхронных генераторах ротор обычно является индуктором.

1050. Определите, сколько пазов приходится на полюсное деление, и разделите 180° на это число.

1051. Правильно. Находим фазовый шаг $\gamma_\phi = \frac{2}{3} \tau = \frac{2 \cdot 3}{3} = 2$; $\gamma = \tau$. Прибавляем фазовый шаг к номеру паза, в котором лежит начало первой фазы.

1052. Правильно.

1053. Учтите, что в насыщенном магнитопроводе магнитное поле практически не увеличивается.

1054. Если бы были известны значения U_n и I_n , нельзя было бы построить нормальную характеристику, так как нельзя найти значения тока возбуждения в относительных единицах.

1055. Правильно. При сбросе емкостной нагрузки напряжение синхронного генератора уменьшается; при увеличении индуктивной нагрузки напряжение также уменьшается.

1056. Переключением ламп синхроскопа нельзя добиться выполнения условий параллельной работы синхронных генераторов.

1057. При регулировании напряжения нет необходимости ограничивать ток нагрузки.

1058. Правильно: $z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ Ом.}$

1059. Правильно. При этом уменьшаются масса магнитопровода и ток в части витков обмотки.

1060. В преобразователях типа ВД-101 и ВД-301 применяют кремниевые выпрямители.

1061. В принципе можно, но тогда пришлось бы ток нагрузки генератора пропускать через скользящие контакты.

1062. Правильно. Ротор генератора совершает 50 об/с, а вектор, изображающий индуцируемую э. д. с., вращается в 2 раза быстрее, так как $p = 2$.

1063. Правильно. Составьте схему обмотки, аналогичную той, которая приведена в основном тексте.

1064. Это неполный ответ.

1065. Поскольку рабочая точка находится на перегибе кривой намагничивания, магнитное поле не только искажается, но и уменьшается.

1066. Правильно.

1067. Правильно: $\Delta U = U_H - U = 230 - 207 = 23 \text{ В; } \Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H} = \frac{23}{230} = 0,1 = 10\%.$

1068. Правильно. При включении «на вращение света» провода от двух ламп присоединяют к разноименным фазам, а от одной лампы — к одноименным.

1069. Правильно: $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/мин.}$

1070. Вы перепутали кривые, изображающие названные зависимости.

1071. Примите во внимание, что последняя цифра в обозначении типа двигателя показывает число полюсов, и, следовательно, двигатель имеет две пары полюсов ($p = 2$).

1072. При отсутствии нагрузки положение точек a , e , c тоже определяется векторной диаграммой напряжений сети, в которую включен трансформатор.

1073. Правильно.

1074. Обратите внимание на то, что напряжение второго трансформатора при увеличении тока уменьшается медленнее, чем первого.

1075. Автотрансформаторы широко применяются для регулирования напряжения бытовых потребителей, например телевизоров.

1076. Первая и вторая обмотки соединены по схеме Υ/Δ — 11, при этом величина острого угла сдвига по фазе между линейными напряжениями равна 30° .

1077. Обмотку ротора (индуктора) синхронного генератора необходимо питать постоянным током.

1078. Это закон электромагнитной индукции в формулировке Максвелла.

1079. Правильно: $y = \frac{5}{6} \tau = 6 \cdot \frac{5}{6} = 5$; $y_\Phi = \frac{2}{3} \tau = \frac{2}{3} \cdot 6 = 4$.

1080. Не возбудится, так как магнитная система генератора будет полностью размагничена.

1081. Правильно. При чисто индуктивной нагрузке ток достигает максимума, когда э. д. с. уменьшается до нуля.

1082. Следует разложить вектор E_d на две составляющие: $\bar{E}_d = E_{dq} + E_{dd}$.

1083. М. д. с. реакции явора направлена против м. д. с. полюсов.

1084. Одного этого условия недостаточно.

1085. При включенном рубильнике лампа будет замкнута накоротко и никаких эффектов не обнаружит.

1086. Имеющихся данных вполне достаточно для ответа на поставленный вопрос.

1087. Вы перепутали кривые, изображающие названные зависимости.

1088. Правильно. Двигатель имеет четыре полюса или две пары полюсов. Следовательно $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500$ об/мин.

1089. Правильно. Векторы линейных напряжений первичной и вторичной цепей совпадают по направлению.

1090. Положение точек a , b , c зависит от величины нагрузки.

1091. Правильно. У этих трансформаторов напряжения холостого хода не равны между собой.

1092. Нагрузка трансформаторов не одинакова, так как различны их сопротивления короткого замыкания.

1093. Правильно. Все зависит от того, какие зажимы сделать входными, какие — выходными.

1094. Если хотя бы одна вторичная обмотка трехобмоточного трансформатора замкнута на нагрузку, он отдаст соответствующую мощность, и, следовательно, не находится в режиме холостого хода.

1095. Правильно. В тихоходных машинах применяют явнополюсные роторы с большим количеством полюсов; в быстроходных — неявнополюсные.

1096. Сравнивая приведенные выражения, находим $\Delta D = 2\pi$.

1097. Составьте схему рассматриваемой обмотки и по ней определите искомыми номера пазов.

1098. Помните, что при увеличении нагрузки напряжение на зажимах генератора стремится уменьшиться.

1099. Учтите, что с увеличением нагрузки увеличивается размагничивающее действие реакции якоря.

1100. Правильно: $E_{pc} = I_{pc} R_c = 10 \cdot 0,4 = 4$ В.

1101. Вспомните, что в насыщенной машине при изменении тока возбуждения напряжение почти не меняется.

1102. Правильно. В индуктивном сопротивлении ток отстает по фазе от напряжения на угол 90° .

1103. Чтобы поддерживать напряжение синхронного генератора постоянным при изменении нагрузки, ток возбуждения надо изменить.

1104. Правильно.

1105. Постройте векторную диаграмму и найдите угол между векторами линейных напряжений первичной и вторичной цепей.

1106. Правильно. Угол поворота уменьшится, но не до нуля, так как обмотки трансформатора имеют индуктивное сопротивление.

1107. Правильно. Неизвестно, выполняются ли другие условия параллельной работы трансформаторов.

1108. Если группы соединений обмоток различны, то нельзя.

1109. Этот недостаток автотрансформатора связан с увеличением опасности для обслуживающего персонала.

1110. Опыт короткого замыкания проводят трижды, в каждом случае оставляя разомкнутой одну обмотку.

1111. В этом случае магнитная индукция по длине воздушного зазора была бы распределена равномерно, а для получения синусоидальной э. д. с. необходимо синусоидальное распределение магнитной индукции.

1112. Сделайте проверку, подставив эти выражения в формулу закона электромагнитной индукции $e = Blv$.

1113. Правильно. При соединении треугольником э. д. с. третьей гармоники складываются и создают ток, дополнительно нагревающий обмотку; при соединении звездой э. д. с. третьей гармоники взаимно уравновешиваются.

1114. Правильно, при емкостной нагрузке магнитный поток реакции якоря и магнитный поток индуктора совпадают по направлению.

1115. Если левую и правую части уравнения $x_{cx} = x'_a + x_{pc}$ умножить на ток I , то получим $E_{cx} = E_a + E_{pc}$. Откуда находим $E_{cx} = 3 + 4 = 7$ В.

1116. Это уравнение э. д. с. для синхронного генератора с явно выраженными полюсами.

1117. Правильно.

1118. Это необходимое, но недостаточное условие.

1119. При параллельном соединении источников электрической энергии,

отдающих мощность в нагрузку, напряжение на нагрузке не может превышать э. д. с. источника.

1120. Можно, поскольку все условия параллельной работы трансформаторов выполнены.

1121. Правильно, при помощи вольтодобавочного трансформатора можно повысить напряжение у потребителя.

1122. Одно из назначений измерительных трансформаторов — повысить безопасность измерений в высоковольтных сетях.

1123. Правильно.

1124. Правильно: $E = 4,44f\Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,02 = 4,44$ В.

1125. Правильно: $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 3000$ об/мин.

1126. Правильно, эти элементы обеспечивают втягивание обмотки индуктора постоянным током.

1127. Вспомните, что при изменении нагрузки генератора результирующий магнитный поток изменяется.

1128. Это уравнение даст правильное разложение э. д. с. реакции якоря на поперечную и продольную составляющие.

1129. В этом уравнении нет ошибки. Действительно $E_{сх} = E_H + E_{рс} = E_{яг} + E_{ял} + E_{рс}$.

1130. Реакция якоря определяет разницу между э. д. с. холостого хода и э. д. с. нагруженного генератора.

1131. Используются значения $I_{лнл}$, $I_{вд}$ и характеристика холостого хода.

1132. Правильно. При увеличении емкостной нагрузки напряжение генератора стремится увеличиться, поэтому ток возбуждения надо уменьшать.

1133. Ток генератора опережает напряжение сети на угол 90° , когда э. д. с. генератора больше напряжения сети.

1134. Увеличился угол Θ , а скорость вращения двигателя не изменилась.

1135. В режиме холостого хода к. п. д. любого двигателя равен 0.

1136. Правильно. Синхронный и асинхронный двигатели имеют различные конструкции роторов; конструкции статоров одинаковы.

1137. Обратите внимание на то, что обмотки трансформатора соединены звездой, а не треугольником.

1138. Вторичная обмотка может быть обмоткой низкого напряжения с относительно большим током.

1139. Изучите условия параллельной работы трансформаторов.

1140. Только обмотки низкого напряжения.

1141. Вы считаете, что токовую обмотку ваттметра следует включить непосредственно в высоковольтную сеть?

1142. Внимательно рассмотрите векторные диаграммы э. д. с. распределенной и сосредоточенной обмоток.

1143. Правильно. Скорость вращения магнитного поля якоря генератора равна скорости вращения индуктора.

1144. Правильно. Изменился характер нагрузки, а влияние реакции якоря на э. д. с. генератора зависит от характера нагрузки.

1145. Если учесть, что $\vec{E}_{сх} = E_H + \vec{E}_{рс}$, то нетрудно заметить, что это уравнение идентично записанному в первой строке ответов.

1146. Это неполный ответ.

1147. Вспомните определение тока $I_{вл}$.

1148. Такой ток появляется, когда напряжения генераторов не находятся строго в противофазе.

1149. Изменяя ток возбуждения, можно изменить величину реактивной мощности генератора, но нельзя изменить величину его активной мощности.

1150. Правильно.

1151. Величина тока ограничивается не только сопротивлением, но и противо э. д. с. обмотки статора. Почему же суммарное действие этих факторов не уменьшает ток до нуля?

1152. Правильно, линейные напряжения равны соответствующим фазным напряжениям.

1153. Правильно. В понижающем трансформаторе первичная обмотка является обмоткой высшего напряжения.

1154. Следовательно, и ток в нагрузке уменьшится до нуля?

1155. Правильно. Напряжение со вторичных обмоток трехфазного автотрансформатора подается на первичные обмотки последовательных трансформаторов.

1156. Правильно. Трансформатор тока работает в режиме короткого замыкания, трансформатор напряжения — в режиме холостого хода.

1157. Правильно. Между первым пазом и пазом, где лежит конец первой секции, находится 12 пазов (паз обмотки).

1158. Магнитное поле якоря синхронного генератора всегда вращается в ту же сторону и с той же скоростью, что и индуктор.

1159. Магнитное поле увеличивается и искажается при активно-емкостной нагрузке.

1160. Попробуйте мысленно представить себе расположение трех названных векторов. Если это трудно, воспользуйтесь векторной диаграммой.

1161. Правильно.

1162. Правильно: $k_{0.к.з} = \frac{I_{в.п}}{I_{в.к}} = \frac{0,4}{0,5} = 0,8$.

1163. Правильно.

1164. Надо увеличить вращающий момент на валу приводного двигателя, а следовательно, и мощность, поступающую от приводного двигателя к генератору.

1165. Правильно, при скорости ротора, близкой к синхронной, происходит «сцепление» полюсов ротора с полюсами вращающегося магнитного поля и двигатель автоматически втягивается в синхронизм.

1166. Вы ошиблись: $\frac{U_{л1}}{U_{л2}} = \frac{U_{ф1}}{\sqrt{3} U_{ф2}} = \frac{k}{\sqrt{3}}$.

1167. Правильно. При переключении уменьшается число витков вторичной обмотки и напряжение на выходе трансформатора.

1168. Уравнительный ток и индуктируемая им э. д. с. сдвинуты по фазе на 90°.

1169. Обратите внимание на то, что вторичная обмотка имеет в 2 раза меньше витков, чем первичная.

1170. Уменьшилась на 5%.

1171. Правильно. Обрыв вторичной обмотки трансформатора тока приводит к его перегреву, обрыв вторичной обмотки трансформатора напряжения фактически не меняет режима его работы.

1172. Правильно. В лобовых соединениях обмотки э. д. с. не индуктируется.

1173. Правильно. При увеличении напряжения на зажимах Y_1, Y_2 ток индуктора и напряжение синхронного генератора увеличиваются.

1174. Правильно.

1175. Вспомните определение изменения напряжения ΔU .

1176. Значение э. д. с. холостого хода находят по характеристике холостого хода генератора.

1177. Правильно: $I_{вв} = I_{в.к} k_{0.к.з.} = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ А}$.

1178. Появится большой уравнительный ток в двух фазах.

1179. Правильно. Тормозной момент, создаваемый генератором на валу приводного двигателя, также увеличился.

1180. Этот способ запуска синхронного двигателя применяется наиболее часто.

1181. Правильно. Пока момент нагрузки не превышает максимального момента, скорость синхронного двигателя остается постоянной; меняется только угол θ .

1182. Правильно.

1183. Правильно. Таким образом, из большей э. д. с. вычитается э. д. с., индуктируемая уравнительным током.

1184. Проверьте знаки точек.

1185. Уменьшается индуктивное сопротивление, а ток увеличивается.

1186. Правильно: $f = \frac{pn}{60} = \frac{1 \cdot 3000}{60} = 50$ Гц (в двухполюсном генераторе число пар полюсов равно единице).

1187. Вы неправильно определили фазовый шаг.

1188. Правильно. В двухполюсной машине электрический градус равен пространственному.

1189. Правильно. Проследите по схеме замкнутый контур обмотки возбуждения.

1190. Правильно. В этом положении стороны катушки пересекаются полем с максимальной магнитной индукцией.

1191. При активно-емкостной нагрузке продольная составляющая м. д. с. реакции якоря совпадала бы по направлению с м. д. с. индуктора.

1192. Правильно.

1193. Это необходимое, но недостаточное условие.

1194. Правильно.

1195. При скачкообразном изменении активной мощности синхронного генератора возникает колебательный процесс изменения угла θ с течением времени.

1196. Правильно. Исчезновение колебаний стрелки свидетельствует о вхождении ротора в синхронизм.

1197. Если момент нагрузки на валу синхронного двигателя превышает максимальный момент, двигатель останавливается. Для двигателей серии СО $M_{\max} = 1,4 M_n$.

1198. При переключении контактов переключающего устройства нет необходимости ограничивать ток нагрузки.

1199. Правильно, разность коэффициентов трансформации не превышает половины процента их среднего геометрического значения.

1200. Вы ошиблись в знаке.

1201. Это приведет к уменьшению сварочного тока.

1202. Эта часть машины называется индуктором.

1203. Для решения задачи необходимо знать число полюсов генератора.

1204. Определите шаг обмотки и прибавьте его к номеру пазы, в котором лежит начало фазы.

1205. Учтите, что напряжение возбуждителя и ток индуктора увеличиваются.

1206. При активной нагрузке реакция якоря только искажает магнитное поле машины, если магнитопровод непересыщен.

1207. Правильно: $x_{рс}^* = \frac{I_{нрс}}{U_{ф.н}} = \frac{40 \cdot 0,127}{127} = 0,01$.

1208. Еще раз просмотрите внимательно порядок снятия вращающих характеристик синхронного генератора.

1209. Подумайте, как определить момент включения еще более точно.

1210. Нельзя, так как возможны резонанс колебаний и выпадение генератора из синхронизма.

1211. Коэффициент мощности $\cos \varphi$ и мощность P_2 на валу связаны нелинейной зависимостью.

1212. Правильно. Ток, потребляемый из сети синхронным двигателем при асинхронном пуске, в 5—7 раз превышает номинальный ток синхронного двигателя.

1213. Знак над чертой показывает способ соединения фаз первичной обмотки трансформатора, под чертой — вторичной.

1214. Это величина ступени регулирования в трансформаторах типа ТМН мощностью 20 и 35 кВ.

1215. Воспользуйтесь законом Ома.

1216. Учтите, что на участке ax протекает разность токов.

1217. В преобразователях типа ВД-101 и ВД-301 используются кремниевые выпрямители.

1218. Эту часть машины называют индуктором.

1219. Определите, сколько пазов приходится на полюсное деление, и разделите 180° на это число.

1220. Вы неправильно определили количество катушек в каждой фазе обмотки.
1221. Вы не указали обмотку возбуждения возбуждения.
1222. Правильно.
1223. Характеристика холостого хода строится в координатах U_0, I_B ; характеристика короткого замыкания — в координатах I, I_B .
1224. Вы перепутали способы снятия характеристик.
1225. Лампы включены «на погасание». Если они загораются и гаснут поочередно, то ясно, что неодинаков порядок следования фаз генераторов.
1226. Изучите более внимательно рабочие характеристики синхронного двигателя.
1227. Уменьшать ток нет необходимости, важно уменьшить напряжение на зажимах обмотки ротора при пуске.
1228. Правильно. Синхронный конденсатор значительно компактнее, чем блок конденсаторов, которые можно также использовать для повышения $\cos \varphi$.
1229. Рассмотрите формулу $U_c \approx 4,44 k_{обф} \omega \Phi = \text{const}$.
1230. Задержка переключения не ограничивает колебаний тока.
1231. Правильно. Отношение токов обратно пропорционально отношению сопротивлений короткого замыкания.
1232. Автотрансформаторы применяются для понижения в момент запуска напряжения, подводимого к синхронным и асинхронным двигателям.
1233. Силовой трехобмоточный трансформатор имеет одну первичную и две вторичные обмотки.
1234. Специальный генератор постоянного тока (возбудитель) часто используется для питания обмотки ротора (индуктора) синхронного генератора.
1235. Правильно: $p = 2$, поэтому электрических градусов в 2 раза больше, чем пространственных.
1236. Вы неправильно определили число пазов на полюс и фазу.
1237. При отсутствии остаточного магнетизма индуктора генератор не возбуждается.
1238. Учтите, что при индуктивной нагрузке, э. д. с. и ток не совпадают по фазе.
1239. Магнитные потоки направлены согласно, когда генератор работает на чисто емкостную нагрузку.
1240. При уменьшении нагрузки напряжение синхронного генератора может и повышаться и понижаться, в зависимости от характера нагрузки.
1241. Правильно. Мигание лампы свидетельствует о том, что скорости вращения генераторов не равны между собой.
1242. Уясните принцип работы синхронного двигателя. Подумайте, почему двигатель называется синхронным, что это означает.
1243. Такой была бы группа соединений при согласной намотке фазных обмоток.
1244. При симметричной нагрузке положение точки O тоже определяется напряжением сети и не зависит от величины нагрузки.
1245. Трансформаторы включены параллельно.
1246. Вспомните, что токи нагрузки обратно пропорциональны сопротивлениям короткого замыкания.
1247. Правильно. В этом случае вторичная обмотка имеет больше витков, чем первичная.
1248. Вы ошибаетесь. Повторите вопросы, относящиеся к группам соединения обмоток трехфазных трансформаторов.
1249. В силовом сердечнике условия для отвода тепла были бы лучше.
1250. Это закон Ампера, определяющий силу, действующую на проводник с током в магнитном поле.

1251. Вы неправильно определили фазовый шаг: $y_\Phi = \frac{2}{3} \tau$.

1252. Правильно.

1253. Учтите, что при индуктивной нагрузке магнитное поле статора направлено навстречу магнитному полю ротора.

1254. Правильно.

1255. Правильно: э. д. с. E_0 пропорциональна магнитной индукции B в стали, напряженность H магнитного поля и ток возбуждения также связаны линейной зависимостью.

1256. Правильно: $F_0 - F_{\pi} = 100 - 80 = 20 \text{ А}$.

1257. Правильно. Регулировочная характеристика синхронного генератора снимается при условиях: $\omega = \text{const}$; $\cos \varphi = \text{const}$; $U = \text{const}$.

1258. Это только второй этап процесса самосинхронизации генераторов.

1259. Правильно.

1260. Учтите, что угол сдвига по фазе между векторами линейных напряжений первичной и вторичной цепи равен нулю.

1261. При несимметричной нагрузке положение точки O меняется с изменением величины нагрузки.

1262. Неизвестно, выполнены ли другие условия параллельной работы.

1263. Правильно. Разница напряжений короткого замыкания не превышает 10% их среднего арифметического значения.

1264. Если сеть подключить к зажимам ax , а нагрузку к зажимам AX , автотрансформатор будет повышающим.

1265. При опыте холостого хода вторичные обмотки разомкнуты, отдаваемая мощность равна нулю.

1266. Правильно. В этом случае создается близкое к синусоидальному распределение магнитной индукции по длине воздушного зазора.

1267. Правильно. Сравнивая приведенные в условии задачи выражения, находим
$$\frac{p^n}{60} - f \quad \text{или} \quad n = \frac{60f}{p}.$$

1268. Правильно. Прибавляем фазовый шаг к номеру паза, в котором лежит начало первой фазы.

1269. Вспомните, как влияет реакция якоря на э. д. с. синхронного генератора.

1270. Подставьте заданные числовые значения в формулу $E_{\pi} = I_{\pi} r$.

1271. Правильно. Когда магнитная система машины насыщена, изменение тока возбуждения почти не сказывается на величине напряжения генератора.

1272. Необходимо знать: а) номинальный ток и характеристику короткого замыкания; б) э. д. с. нагруженного генератора и характеристику холостого хода.

1273. Правильно. Нужно знать характер нагрузки.

1274. Уравнительный ток не протекает через сопротивление нагрузки, следовательно характер нагрузки не отражается на его фазе.

1275. Такое положение треугольников abc и ABC возможно только при емкостной нагрузке.

1276. Можно, если выполнены другие условия параллельной работы.

1277. Правильно. Неизвестны группы соединений обмоток (согласно или встречно намотаны обмотки на стержнях).

1278. Коэффициент трансформации автотрансформаторов мал (не превышает 2).

1279. Правильно. Многообмоточные трансформаторы широко применяются в радиотехнике, автоматике и др.

1280. Правильно, мощные синхронные генераторы чаще всего рассчитываются на это напряжение.

1281. Правильно: $e = B_{cp} l v = B_{cp} l \cdot 2\pi f = 2f\Phi$.

1282. Воспользуйтесь формулой
$$n = \frac{60f}{p}.$$

1283. Этого недостаточно.

1284. Правильно. Напряжение и э. д. с. генератора увеличиваются, так как увеличивается результирующий магнитный поток.

1285. Нетрудно заметить, что $E_{сх} = E_{\pi} + E_{рс}$, а значения э. д. с. реакции якоря и э. д. с. рассеяния заданы.

1286. Вследствие действия реакции якоря э. д. с. нагруженного генератора $E_{нг}$ меньше э. д. с. E_0 .

1287. Пущна характеристика холостого хода, а не характеристика короткого замыкания.

1288. Правильно, суммарное действие двух названных причин приводит к быстрому уменьшению напряжения при увеличении нагрузки.

1289. В обмотке генератора протекает реактивный уравнительный ток, который не может совпадать по фазе с напряжением сети.

1290. Используя график, можно выразить M_n через $M_{макс}$, а затем найти перегрузочную способность.

1291. Правильно. В режиме холостого хода полезная работа не совершается $P_2 = 0$, а из сети потребляется мощность потерь $P_1 \neq 0$.

1292. Постройте векторную диаграмму и определите угол между векторами линейных напряжений первичной и вторичной цепей.

1293. Учтите, что первичная обмотка может быть обмоткой высшего напряжения.

1294. Нельзя, так как группы соединений обмоток различны.

1295. Правильно.

1296. Правильно. Измерительные трансформаторы не только не повышают точность измерений, но вносят дополнительную погрешность.

1297. Это вертикальный синхронный гидрогенератор с машинным возбудителем.

1298. Максимальное значение коэффициента распределения обмотки $k = 1$. В этом случае все векторы, изображающие э. д. с. витков, складываются арифметически.

1299. Задачу можно решить, не зная числа полюсов ротора.

1300. Это правильный ответ.

1301. При увеличении индуктивной составляющей мощности коэффициент мощности уменьшается, если активная составляющая неизменна.

1302. Это правильное уравнение для э. д. с. синхронного генератора с явно выраженными полюсами.

1303. Напряжение в обмотке якоря определяет разницу между э. д. с. нагруженного генератора и напряжением на его зажимах.

1304. Вспомните порядок определения э. д. с. холостого хода при помощи практической диаграммы э. д. с.

1305. Правильно. Ток возбуждения надо увеличивать, а сопротивление в цепи возбуждения — уменьшать.

1306. Правильно.

1307. При увеличении нагрузки уменьшается скорость вращения асинхронного двигателя. Скорость синхронного двигателя от нагрузки не зависит.

1308. Фазный ток не может быть больше линейного тока.

1309. Учтите, что в повышающем трансформаторе первичная обмотка является обмоткой высшего напряжения.

1310. Правильно. Ответ находим при помощи векторной диаграммы.

1311. Правильно. Группы соединений этих обмоток явно различны.

1312. Учтите, что при увеличении нагрузки напряжение на зажимах трансформатора уменьшается.

1313. Трансформатор тока работает в режиме короткого замыкания.

1314. Правильно: $y = \frac{z}{2r} = \frac{24}{2} = 12$.

1315. Необходимо изменить порядок следования фаз токов.

1316. Магнитное поле увеличивается при емкостной нагрузке.

1317. Правильно.

1318. Правильно.

1319. Вспомните определение тока $I_{в.к.}$

1320. Уравнительный ток появляется в двух фазах, когда на параллельную работу включают синхронные генераторы, у которых различен порядок следования фаз.

1321. Изменяя ток возбуждения, можно менять лишь величину реактивной мощности синхронного генератора.

1322. В случае повышения нагрузки на валу синхронного двигателя угол θ увеличивается (при устойчивой работе машины).

1323. Изменяя напряжение, подведенное к синхронному двигателю, нельзя изменить скорость ротора и сделать ее синхронной.

1324. Правильно. Выпрямленный ток, индуцируемый в дополнительной обмотке статора, используется для питания обмотки ротора.

1325. Правильно.

1326. Одного этого условия недостаточно.

1327. Правильно. Следует иметь также в виду, что при определенных условиях опережающий ток может потреблять из сети и нагруженный двигатель.

1328. Вспомните, что при соединении треугольником фазное и линейное напряжения равны между собой.

1329. Учтите, что трансформатор — повышающий.

1330. Правильно.

1331. Разве числа витков первичной и вторичной обмоток равны?

1332. При таком перемещении контактов добавочная э. д. с. уменьшается.

1333. Нельзя размыкать вторичную обмотку трансформатора тока, включенного в сеть. Это приведет к его перегреву. Вторичную обмотку трансформатора напряжения можно разомкнуть, при этом режим работы трансформатора практически не изменится.

1334. Начало второй секции обмотки лежит рядом с началом первой секции.

1335. Правильно. Магнитное поле вращается со скоростью 50 об/с или $2\pi 50 = 314$ рад/с.

1336. Это неполный ответ.

1337. Обратите внимание на то, что угол $\Theta = \psi - \varphi$.

1338. Правильно, это уравнение позволяет найти вектор м. д. с. полюсов.

1339. Правильно. У генераторов с неявно выраженными полюсами $k_{о.к.з.}$ лежит в пределах $0,55 \div 0,96$.

1340. Правильно, в системе возникают опасные блески.

1341. Угол между векторами э. д. с. и напряжения генератора равен углу Θ между осью полюсов и осью результирующего магнитного потока.

1342. Для того чтобы синхронный двигатель втянулся в синхронизм, необходимо раскрутить его ротор до скорости, близкой к синхронной.

1343. Правильно: $U_{ф2} = U_{ф1} = U_{л1} = 220$ В; $U_{л2} = \sqrt{3} U_{ф2} = \sqrt{3} \cdot 220 = 380$ В.

1344. При переключении становится другим число витков первичной обмотки, следовательно изменяются коэффициент трансформации и напряжение на выходе трансформатора.

1345. Но тогда напряжения вторичных обмоток были бы различны, а параллельная работа — невозможна.

1346. Правильно. Мощности первичной и вторичной обмоток автотрансформатора примерно равны (высокий к. п. д.).

1347. Напряжение на зажимах вторичной обмотки сварочного трансформатора меняется от 60—70 В до нуля.

1348. При таком заземлении остается опасность поражения током в случае пробоя изоляции между первичной и вторичной обмотками измерительного трансформатора.

1349. Найдите более развернутый ответ.

1350. Учтите, что ток индуктора увеличился.

1351. В этом положении э. д. с. и ток в катушке равны нулю.

1352. Примите во внимание, что м. д. с. реакции якоря имеет не только поперечную, но и продольную составляющую.

1353. Вектор э. д. с. холостого хода перпендикулярен вектору м. д. с. A_{ω_0} полюсов синхронного генератора.

1354. Воспользуйтесь формулой $I_{в.л} = I_{в.к} k_{о.к.з.}$.

1355. Правильно.

1356. При увеличении активной мощности, отдаваемой генератором в сеть, угол Θ увеличивается, а не уменьшается.

1357. Правильно. Ступенчатый пуск применяется для двигателей постоянного тока с целью уменьшения перегрузки сети пусковыми токами.

1358. Примите во внимание, что для двигателя серии СО отношение $\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 1,4$.

1359. Перевозбужденный, а не недвозбужденный синхронный двигатель.

1360. В этом случае напряжение на выходе уменьшится на 5%.

1361. Правильно. Первый трансформатор будет перегружен, второй — недогружен.

1362. Вы ошиблись в знаке: токи вычитаются друг из друга.

1363. Сварочный трансформатор типа СТАН-1 не имеет специального дросселя.

1364. Правильно. неподвижная часть двигателя также называется статором.

1365. Правильно: $\tau = \frac{z}{2p} = \frac{60}{4} = 15$; $y_{\Phi} = \frac{2}{3} \tau = 10$.

1366. Укажите более развернутый ответ.

1367. Правильно. Увеличивается ток возбуждения возбудителя, повышается его напряжение, увеличиваются ток индуктора и напряжение синхронного генератора.

1368. В этом положении стороны катушки не пересекаются магнитными силовыми линиями.

1369. Вы правы, но найдите более удобную и чаще применяемую запись этого уравнения.

1370. Подставьте заданные значения напряжения (В), тока (А) и индуктивного сопротивления рассеяния (Ом) в формулу $x_{\text{ре}}^* = \frac{I_{\text{н}} r_{\text{ре}}}{U_{\text{нф}}}$.

1371. Правильно, необходимо выполнение трех условий: $\omega = \text{const}$; $I_{\text{в}} = \text{const}$; $\cos \varphi = \text{const}$.

1372. Вспомните, что на параллельную работу включают генераторы, напряжения которых находятся в противофазе.

1373. Демпфирующая обмотка ускоряет затухание колебаний ротора, возникающих после резкого изменения нагрузки синхронного генератора.

1374. Правильно.

1375. При асинхронном пуске пусковой ток синхронного двигателя в 5—7 раз превышает номинальный ток.

1376. Механические потери составляют часть постоянных потерь.

1377. Вспомните правило правой руки.

1378. Правильно.

1379. Правильно.

1380. На значение s ставят только приведенное активное сопротивление; приведенное индуктивное сопротивление не ставят на s .

1381. Правильно. Вначале находим $P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{мех}} = 500 - 470 = 30$ Вт; затем определяем скольжение двигателя по формуле $s = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эм}}} = \frac{30}{500} = 0,06 = 6\%$.

1382. Сопротивление пускового реостата обычно в 8—10 раз превышает активное сопротивление обмотки ротора.

1383. Правильно.

1384. При соединении обмоток треугольником фазный ток меньше линейного в $\sqrt{3}$ раз.

1385. Изменением числа пар полюсов можно осуществить ступенчатое, а не плавное регулирование скорости асинхронного двигателя.

1386. Индуктивное сопротивление рабочей клетки при пуске значительно больше, чем пусковой.

1387. Переменные напряжения и э. д. с. можно складывать только в векторной форме.

1388. Правильно.

1389. Правильно: $R = \frac{U_{\Phi}}{k_i I_{\text{н}}} = \frac{220}{4 \cdot 25} = 2,2$ Ом.

1390. Правильно. Реверсирование однофазного асинхронного двигателя не представляет сложности: достаточно поменять местами концы пусковой или рабочей обмотки.

1391. Правильно. Угол φ и $\cos \varphi$ при увеличении нагрузки не изменяются, так как модули векторов $I \Sigma x$ и $I \Sigma r$ возрастают одновременно и пропорционально.

1392. При отключенном возбуждении отсутствуют потери на возбуждение; кроме того, отсутствуют механические потери, так как ротор неподвижен. Потери на возбуждение и механические потери относятся к постоянным потерям.

1393. Для определения коэффициента трансформации асинхронного двигателя достаточно знать значения э. д. с. обмоток статора и ротора.

1394. Наоборот, Т-образная — точнее, Г-образная — удобнее.

1395. Правильно. Вращающий момент увеличивается при повышении скольжения. При этом увеличиваются и тепловые потери в обмотке ротора: $P_{\text{м.рот}} = s \cdot P_{\text{эм}}$.

1396. Зависимость тока, потребляемого из сети, от механической мощности на валу относится к рабочим характеристикам двигателя.

1397. Скольжение не может резко измениться, так как скорость n_2 вращения ротора определяется скоростью приводного двигателя, а скорость n_1 вращающегося магнитного поля — частотой тока в сети.

1398. Правильно. При соединении звездой линейный ток равен фазному.

1399. Скорость регулируют при помощи регулировочных реостатов.

1400. В момент пуска индуктивное сопротивление рабочей обмотки велико и ток вытесняется в пусковую клетку.

1401. Правильно. При повороте вектора $U'_{2\phi}$ относительно вектора $U_{1\phi}$ нарушаются условия параллельной работы трансформаторов.

1402. Правильно.

1403. Правильно, результирующий магнитный поток перемещается, образуя бегущее магнитное поле.

1404. Между размерами (и массой) однофазного коллекторного двигателя и двигателя постоянного тока нет больших различий.

1405. Правильно. Такое название двигателям серии УЛ дано потому, что они универсальны по отношению к источникам питания.

1406. Но для поддержания постоянной э. д. с. при уменьшении скорости вращения генератора надо увеличивать ток в обмотке возбуждения.

1407. Правильно. Чтобы сохранить механическую мощность неизменной при уменьшении напряжения, ток должен увеличиться. В этом случае нагрев двигателя становится более интенсивным.

1408. Это только одна из причин вибрации.

1409. Правильно. Загрязнение ухудшает условия теплоотдачи обмоток, увеличивает искрение под щетками.

1410. Правильно. При обрыве цепи возбуждения напряжение генератора определяется величиной потока остаточного магнетизма стали, который незначителен.

1411. Если сорт щеток выбран неверно, искрение увеличивается.

1412. Правильно. Вследствие магнитострикции размеры сердечника трансформатора колеблются, чем и вызывается нормальное гудение. Причины повышенного уровня гудения необходимо устранять.

1413. Правильно.

1414. Это неполный ответ.

1415. Правильно.

1416. Правильно: $P_{\text{м}} = m I_1^2 R_{\text{л}} = 3 \cdot 10^2 \cdot 0,5 = 150 \text{ Вт}$.

1417. Пазы для охлаждения предусматривают и в двигателях с короткозамкнутой, и в двигателях с фазной обмотками ротора.

1418. Правильно: $E'_2 = k E_2 = 5 \cdot 20 = 100 \text{ В}$.

1419. Правильно.

1420. При изменении вращающего момента изменяется скольжение, а следовательно, и тепловые потери в обмотке ротора, которые пропорциональны скольжению: $P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} s$.

1421. С изменением механической мощности на валу двигателя ток, потребляемый им из сети, изменяется.

1422. При изменении скорости вращения ротора частота асинхронного генератора изменяется.

1423. Правильно. При соединении фаз обмотки треугольником двигатель потреблял из сети ток $10/\sqrt{3}$ А, при соединении звездой потребляет ток $10/\sqrt{3}$ А, следовательно, ток уменьшился в 3 раза; значит, снизился и вращающий момент, пропорциональный току.

1424. Правильно.

1425. Во время пуска индуктивное сопротивление рабочей обмотки больше, чем пусковой, поэтому ток распределяется между ними неравномерно.

1426. Прочитайте внимательно абзац, где указаны области применения педукторных регуляторов.

1427. Правильно. Вначале находим скорость вращения прямого и обратного магнитных полей $n = 60f = 60 \cdot 50 = 3000$ об/мин. Затем определяем:

$$s_1 = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05 = 5\%; \quad s_2 = \frac{3000 - 2850}{3000} = 1,95 = 195\%.$$

1428. Правильно. Бегущее магнитное поле создает некоторый пусковой момент.

1429. Щетки должны быть установлены на геометрической нейтральной, проходящей под углом 90° к оси полюсов.

1430. Правильно.

1431. Правильно. Прежде всего находим $P_{\text{доб}} = 0,005 P_n = 0,005 \cdot 10\,000 = 50$ Вт. Затем вычисляем сумму потерь в двигателе: $P = P_n + P_m + P_{\text{доб}} = 250 + 200 + 50 = 500$ Вт = 0,5 кВт. После этого определяем к. п. д.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} = \frac{4,5}{4,5 + 0,5} = 0,9.$$

$$1432. \text{Правильно: } s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{(3000 - 2940)}{3000} = 0,02 = 2\%.$$

$$1433. \text{Правильно: } f_2 = sf_1 = 0,02 \cdot 50 = 1 \text{ Гц.}$$

$$1434. \text{Правильно. } P_{\text{м.рот}} = 3I_2^2 R_2 = 3 \cdot 10^2 \cdot 0,1 = 30 \text{ Вт.}$$

1435. Правильно. На участке от 0 до $s_{\text{кр}}$ вращающий момент увеличивается, а на участке от $s_{\text{кр}}$ до 1 — уменьшается при увеличении скольжения.

1436. Правильно. Чем меньше скорость ротора, тем больше скольжение. При неподвижном роторе скольжение $s = 1$.

1437. Сложность поддержания стабильной частоты при постоянном напряжении на зажимах — один из недостатков асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением.

1438. Пусковой момент будет наибольшим, когда $s_{\text{кр}} = 1$. Следовательно, $r_2' = x_{\text{к}} = x_1 + x_2 = 2,5 + 2,5 = 5$ Ом.

1439. Асинхронный двигатель питается переменным трехфазным напряжением, полярность которого меняется 100 раз в 1 с.

1440. Правильно. Активное сопротивление провода обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

1441. Складывается напряжение сети и э. д. с. ротора.

1442. Индуктивное сопротивление обмотки прямо пропорционально частоте тока.

1443. Противо-э. д. с. однофазного коллекторного двигателя — переменная электродвижущая сила.

1444. Правильно. Витки соединены последовательно, поэтому э. д. с. одного витка в 100 раз меньше э. д. с. генератора, а сопротивление одного витка в 100 раз больше сопротивления параллельной ветви; следовательно, $I = \frac{e}{r} = \frac{1,15}{0,001} = 1150$ А.

1445. Учтите, что при смещении щеток с физической нейтральной ухудшаются условия коммутации.

1446. Учтите, что при уменьшении коэффициента мощности размагничивающее действие реакции якоря увеличивается.

1447. Правильно. При вращении якоря по пвердии машина обсточева, следовательно, электрические причины вибрации отсутствуют.

1448. При коротком замыкании отдельных витков обмотки якоря напряже-ние генератора уменьшается, но не до нуля.

1449. Правильно. Ток в цепи возбуждения, магнитный поток генератора и, следовательно, его э. д. с. меньше номинальных значений.

1450. При обрыве цепи возбуждения генератор не возбуждится и никакого искрения под щетками не будет.

1451. Правильно. В этом случае увеличивается уровень гудения.

1452. Правильно.

1453. Правильно.

1454. Необходимо увеличить напряжение питания.

1455. Правильный ответ: а) 90° ; б) 45° .

1456. Воспользуйтесь формулой $n_2 = \frac{60f}{p} (1 - s)$.

1457. Если в асинхронном двигателе ось вентилятор, то в марку двигателя вводят букву О (обдуваемый).

1458. Правильно.

1459. Воспользуйтесь формулой $P_1 = \frac{P_2}{\eta}$.

1460. Правильно.

1461. Правильно. В этом случае скольжение отрицательно, асинхронная машина вырабатывает электрическую энергию за счет механической.

1462. Пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора превышает номинальный ток.

1463. Правильно: $R'_{\text{реост}} = k^2 R_{\text{реост}}$, откуда $R_{\text{реост}} = \frac{R'_{\text{реост}}}{k^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом}$.

1464. Асинхронный двигатель питается переменным напряжением, поляр-ность которого периодически меняется с большой частотой.

1465. Если ротор вращается с номинальной скоростью, скольжение близко к нулю и эффект вытеснения тока к поверхности лаза не выражен.

1466. Можно, так как фазы напряжений U_1 и U_2 не изменяются.

1467. Для того чтобы рассматриваемый двигатель развивал $2/3$ номинальной мощности, к нему надо подвести удвоенное фазное напряжение.

1468. Правильно, у этого двигателя пусковую обмотку отключают вручную.

1469. Эти э. д. с. совпадают по фазе.

1470. Так же как двигатель постоянного тока последовательного возбуж-дения, однофазный коллекторный двигатель в режиме холостого хода идет «вразнос».

1471. Правильно. Так же как двигатель постоянного тока с последователь-ным возбуждением, однофазный коллекторный двигатель обладает большим пусковым моментом.

1472. Правильно. Ротор из магнитотвердого материала намагнитится в поле статора, и двигатель перестает быть реактивным, превратится в обычный синхронный двигатель.

1473. Правильно.

1474. Правильно. Это легко увидеть из формулы $I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}$.

1475. Правильно: $\eta = \frac{P_2}{(P_2 + \Sigma P)} = \frac{350}{350 + 150} = 0,7 = 70\%$.

1476. Правильно. При критическом скольжении вращающий момент аспн-хронного двигателя достигает максимального значения, следовательно, $k_M =$

$= \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{40}{20} = 2$.

1477. Скольжение аспнхронного генератора отрицательно и значительно меньше по абсолютной величине.

1478. Посмотрите внимательно таблицу предельных значений мощности короткозамкнутых двигателей, запускаемых прямым включением в сеть.

1479. Правильно. Пусковой реостат рассчитан на кратковременный режим работы; по окончании пуска он должен быть выведен полностью.

1480. При торможении противовключением меняют порядок следования фаз и направление вращения магнитного поля обмотки статора.

1481. Плотность тока в стержне по глубине паза примерно одинакова.

1482. Правильно. К двигателю надо подвести удвоенное фазное напряжение.

1483. Эти э. д. с. сдвинуты по фазе на угол 90° .

1484. Правильно.

1485. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$U_{\phi} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{1} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{3}}{1} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 100 = 61,3 \text{ В.}$$

1486. Под напряжением сети находится первичная обмотка стабилизирующего трансформатора.

1487. Правильно. При увеличении скольжения уменьшаются скорости вращения двигателя, генератора и частота напряжения на выходе.

1488. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 3000 \text{ об/мин}$$

1489. Правильно. Ротор вращается относительно поля со скоростью 4000 об/мин, поэтому $f = \frac{pn}{60} = \frac{3 \cdot 4000}{60} = 200 \text{ Гц}$.

1490. Правильно, чем больше частота, тем больше скорость и меньше расчетная масса двигателя переменного тока.

1491. Ротор будет вращаться с синхронной скоростью $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 100}{4} = 6000 \text{ об/мин}$

1492. Это неполный ответ.

1493. Найдите более обстоятельный ответ.

1494. Учтите, что при изменении механической нагрузки на валу скорость ротора изменяется.

1495. Учтите, что все векторы на векторной диаграмме приведены к эквивалентному режиму (при неподвижном роторе).

1496. Правильно: $P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эл}} - P_{\text{мех}} = 500 - 470 = 30 \text{ Вт}$.

1497. Правильно. Максимальный момент не зависит от активного сопротивления цепи ротора; для увеличения пускового момента в цепь ротора вводят пусковой реостат.

1498. Правильно. Вращающееся магнитное поле создается за счет реактивной мощности сети, активная электрическая мощность вырабатывается за счет мощности приводного двигателя.

1499. Правильно. При указанных условиях предельная мощность короткозамкнутого асинхронного двигателя, запускаемого прямым включением в сеть, составляет 20% мощности трансформатора при частых пусках и 30% — при редких.

1500. Правильно.

1501. Активное сопротивление рабочей обмотки делают небольшим, чтобы уменьшить тепловые потери и повысить к. п. д. асинхронного двигателя.

1502. Основные недостатки: низкий к. п. д. и $\cos \varphi$; основные достоинства: небольшой пусковой ток, большой пусковой момент.

1503. Когда обмотка В включена, образуется вращающееся магнитное поле.

1504. Правильно. При повышении частоты f_1 увеличиваются индуктивное сопротивление обмоток и вектор $I\Sigma x$; при этом возрастает угол φ , а $\cos \varphi$ уменьшается.

1505. Потери на гистерезис включают в постоянные потери синхронной машины.

1506. Правильно. Для ответа на вопросы используем правила правой и левой руки.

1507. Потери на перемагничивание не зависят от формы стальной детали, а только от ее массы и частоты изменения магнитного поля.

1508. Значение магнитного потока обмотки статора постоянно.

1509. Найдите более полный ответ.

1510. Вначале определите $P_{\text{м.рот}}$ так же, как это было сделано при ответе на предыдущий вопрос. Затем найдите скольжение из формулы $P_{\text{м.рот}} = sP_{\text{ам}}$.

1511. Правильно: $M = 9,55 \frac{P_2}{n_2} = 9,55 \frac{5800}{2900} = 19,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

1512. Постоянство величины вырабатываемого напряжения может быть обеспечено регулятором напряжения.

1513. Правильно. Поскольку ротор асинхронного генератора вращается со скоростью, большей чем синхронная, скольжение отрицательно.

1514. Вы ошиблись. Посмотрите правильное решение задачи в консультации 1755.

1515. В короткозамкнутом асинхронном двигателе не предусмотрена возможность изменения сопротивления цепи ротора.

1516. Правильно. По мере раскручивания ротора уменьшается скольжение машины и индуктивное сопротивление обмоток, которое пропорционально скольжению.

1517. Правильно.

1518. Начальная фаза изменяется пропорционально углу поворота ротора; напряжение постоянно.

1519. Воспользуйтесь формулой $R = \frac{U_{\Phi}}{k_i I_{\text{н}}}$, где U_{Φ} — фазное напряжение; k_i — кратность пускового тока; $I_{\text{н}}$ — номинальный ток двигателя.

1520. При изменении полярности напряжения питания направление вращения двигателя постоянного тока не изменяется, так как одновременно становятся противоположными направления тока в якоре и магнитного потока возбуждения.

1521. Правильно. При мощности машины до 100 кВт добавочные потери составляют 0,5% номинальной мощности. Следовательно, $P_{\text{доб}} = 100\,000 \cdot 0,005 = 500 \text{ Вт}$.

1522. Воспользуйтесь формулой $z'_2 = k^2 z_2$.

1523. Воспользуйтесь формулой $P_1 = 3U_{1\Phi} I_{1\Phi} \cos \varphi_1$.

1524. Вращающий момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, подведенного к обмотке статора.

1525. Правильно. Рабочие характеристики асинхронного двигателя снимают при постоянных значениях частоты и напряжения питания.

1526. Напряжение на зажимах асинхронного генератора зависит от характера нагрузки.

1527. Уменьшение пускового тока не недостаток, а достоинство.

1528. Правильно. Кроме того, существенным недостатком асинхронного двигателя является относительно малая величина пускового момента.

1529. Помните, что активное сопротивление пусковой обмотки больше, чем рабочей.

1530. Магнитное поле однофазного асинхронного двигателя не вращается, а пульсирует.

1531. Прямое и обратное поля вращаются в противоположные стороны, поэтому ротор не может иметь относительно этих полей одно и то же скольжение.

1532. Правильно. В отличие от обычных однофазных двигателей двигатель с расщепленными полюсами не нуждается в пусковой обмотке.

1533. Эта обмотка предназначена для компенсации реакции якоря.

1534. Учтите, что количество тепла, выделяющегося в активном сопротивлении обмотки, пропорционально квадрату тока.

1535. Учтите, что для поддержания напряжения генератора на одном уровне при изменении $\cos \varphi$ необходимо регулировать ток возбуждения.

1536. Обратите внимание на то, что при изменении коэффициента мощности размагничивающее действие реакции якоря изменяется.

1537. Учтите, что «пожар стали» вызывается вихревыми токами в сердечнике трансформатора.

1538. При коротком замыкании некоторых витков обмотки возбуждения несколько снижаются э. д. с. и напряжение генератора, но не столь значительно, как сказано в условии задачи.

1539. Уточните последствия, к которым приводит неправильное включение регулировочного реостата.

1540. Несимметрия нагрузки фаз трансформатора приводит к повышенному гудению.

1541. В этом случае при холостом ходе напряжения на выходе трансформатора будут одинаковыми.

1542. Неправильности коллекторного узла встречаются еще чаще.

1543. Это неполный ответ.

1544. Скорость синхронного двигателя не зависит от величины напряжения питания.

1545. Вы ошиблись. Вначале определите добавочные потери: $P_{доб} = 0,005 P_n$; затем найдите сумму потерь $\Sigma P = P_0 + P_M + P_{доб}$; после этого определите к. п. д.

1546. Каждая фаза обмотки рассчитана на 220 В; при соединении обмоток треугольником фазовое напряжение равно линейному.

1547. Правильно. Последовательно находим: $n_1 = \frac{60f}{p} = 60 \cdot 50 = 3000$ об/мин.
 $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05$; $f_2 = s f_1 = 0,05 \cdot 50 = 2,5$ Гц.

1548. Воспользуйтесь формулой $P_{м.ст} = 3 I_{ф}^2 r_1$, подставив в нее данные из условия предыдущего вопроса.

1549. Вращающий момент увеличивается при повышении скольжения от 0 до критического $s_{кр}$.

1550. Вращающий момент связан с мощностью на валу соотношением $M_{вр} = \frac{P_2}{\omega}$. Если бы угловая скорость ω_2 ротора оставалась постоянной, то вращающий момент возрастал бы пропорционально мощности P_2 , но поскольку ω_2 сама уменьшается при увеличении P_2 , то вращающий момент повышается относительно быстрее, чем растет мощность на валу.

1551. Большая стоимость конденсаторов — один из недостатков асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением.

1552. Основной недостаток — уменьшение пускового момента, и, следовательно, необходимость уменьшать нагрузку двигателя при пуске.

1553. Порядком следования фаз обмотки статора асинхронного двигателя.

1554. Активное сопротивление линейного проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

1555. Правильно.

1556. Прямое поле индуцирует в обмотке ротора ток частотой $f_2 = f_{1\kappa} = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ Гц.

1557. Вы ошибаетесь. При изменении направления тока в обмотке якоря направление вращения двигателя изменится тоже.

1558. Правильно. Реактивный синхронный двигатель не имеет обмотки возбуждения.

1559. Вначале определите скорость вращающегося магнитного поля: $n_1 = \frac{60f}{p}$. Затем найдите скольжение.

1560. Правильно. При соединении звездой концы катушек объединяются; при соединении треугольником конец первой фазы C_4 соединяют с началом второй C_2 , конец второй C_5 — с началом третьей C_3 , конец третьей C_6 — с началом первой C_1 .

1561. Воспользуйтесь формулой $f_2 = s f_1$.

1562. Правильно: $P_{вл} = P_1 - P_{м.ст} = P_{ст} = 480 - 12 - 8 = 460$ Вт.

1563. Правильно. При уменьшении скольжения становится меньше ток в обмотке ротора, так как понижается величина индуцируемой в роторе э. д. с. и уменьшается значение угла сдвига по фазе между током и э. д. с. ротора вследствие уменьшения индуктивного сопротивления ротора, пропорционального скольжению.

1564. При повышении нагрузки на валу асинхронного двигателя уменьшается скорость ротора, а скольжение увеличивается.

1565. И в режиме короткого замыкания и в первый момент после подключения обмотки статора к сети ротор асинхронного двигателя неподвижен, следовательно, скольжение равно 1.

1566. В случае применения этого реостата приведенное активное сопротивление цепи ротора не будет равно 5 Ом.

1567. Барабанный переключатель позволяет установить такой режим работы асинхронного двигателя.

1568. При изменении активного сопротивления обмотки ротора изменяется скольжение $s_{кр}$, соответственно изменяется и пусковой момент.

1569. Правильно. Отношение индуктивных сопротивлений равно отношению частот или отношению скольжений: $\frac{x_{обр}}{x_{пр}} = \frac{s_2}{s_1} = \frac{1,95}{0,05} = 39$.

1570. Простота обслуживания — одно из достоинств двигатель-генераторных преобразователей.

1571. Однофазный преобразователь можно использовать для получения и однофазного и трехфазного переменного тока.

1572. Вы ошиблись. Посмотрите правильное решение в консультации 1485.

1573. Правильно. Этот ток создается напряжением сети, в которую включен асинхронный двигатель.

1574. Правильно. При увеличении нагрузки становятся больше магнитный поток сердечных обмоток стабилизирующего трансформатора и ток во вторичной обмотке.

1575. Вспомните, какую роль играет стабилизирующий трансформатор в преобразователе частоты ПСЧ 5.

1576. К скорости вращения ротора надо добавить скорость вращения магнитного поля статора синхронного генератора.

1577. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/мин.}$$

1578. Правильно. Когда ротор удален, частота токов в первичной и вторичной обмотках преобразователя одинакова (так же как в первичной и вторичных обмотках трансформатора).

1579. Такой будет частота выходного напряжения, когда частота входного напряжения 50 Гц.

1580. Воспользуйтесь формулой $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, где P_1 — мощность, потребляемая из сети; P_2 — отдаваемая (полезная) мощность.

$$1581. \text{Правильно: } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1,2}{2} = 0,6.$$

1582. Вы ошиблись. Посмотрите консультацию к первой строке ответов.

1583. В обычном (не реактивном) синхронном двигателе максимальный вращающий момент соответствует углу $\theta = 90^\circ$.

$$1584. \text{Воспользуйтесь формулами: } n_1 = \frac{60f}{p}; \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

1585. Обмотки в случаях а и б соединены по разным схемам.

1586. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$E_{2s} = sE_2 = 0,04 \cdot 20 = 0,8 \text{ В.}$$

1587. Механическая мощность $P_{\text{мех}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{м.рот}} = 460 - 30 = 430 \text{ Вт}$; полезная мощность на валу $P_2 = P_{\text{мех}} - P_{\text{доб}} = 430 - 5 = 425 \text{ Вт}$.

1588. Угол сдвига по фазе между э. д. с. и током ротора при понижении скольжения уменьшается, так как становится меньше индуктивное сопротивление обмотки ротора, пропорциональное скольжению.

1589. В этом случае асинхронная машина работает как двигатель.

1590. Примите во внимание, что в режиме короткого замыкания ротор асинхронного двигателя неподвижен.

1591. Правильно: $r'_{\text{реост}} = r'_2 - r'_{\text{рот}} = 5 - 1 = 4 \text{ Ом}$.

1592. При помощи барабанного переключателя можно осуществить реверсирование асинхронного двигателя.

1593. Правильно. Нижняя часть стержней сцеплена с большим магнитным потоком, чем верхняя.

1594. Правильно. Пределы изменения напряжения определяются удвоенным максимальным значением э. д. с., индуцируемой в обмотке ротора.

1595. Пусковой момент однофазного асинхронного двигателя без пусковой обмотки равен нулю.

1596. Правильно.

1597. У реактивного синхронного двигателя размеры и масса больше, а коэффициент полезного действия меньше, чем у обычного синхронного двигателя.

1598. Исследуйте формулу

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(r_2 \frac{s}{s_2}\right)^2 + x_2^2}}.$$

1599. Вы перепутали выражения электромагнитной мощности и полной механической мощности двигателя.

1600. Примите во внимание, что при критическом скольжении вращающий момент двигателя максимален.

1601. Правильно. Поэтому асинхронный генератор уменьшает коэффициент мощности сети.

1602. При указанных условиях короткозамкнутый двигатель мощностью 40 кВт не может быть запущен прямым включением в сеть.

1603. В момент пуска пусковой реостат должен быть полностью введен, в рабочем режиме — полностью выведен.

1604. Время торможения протиковключением уменьшается по сравнению со временем свободного выбега ротора.

1605. К. п. д. называемых двигателей несколько меньше, чем к. п. д. двигателей обычной конструкции.

1606. Ток, протекающий в обмотке В, опережает по фазе токи, протекающие в обмотках А и С.

1607. Внимательно изучите векторную диаграмму однофазного коллекторного двигателя. Какие величины, характеризующие работу двигателя, зависят от частоты f_1 ?

1608. Тяжелые условия коммутации — один из существенных недостатков однофазных коллекторных двигателей.

1609. Двигатель-генераторный агрегат будет преобразовывать трехфазный ток в постоянный, если синхронный двигатель включить в сеть трехфазного тока, а к генератору постоянного тока подключить нагрузку.

1610. Правильно. Двигатель генераторные преобразователи отличается сравнительно низкий к. п. д., равный произведению к. п. д. электрических машин, соединенных в агрегат.

1611. Контактные кольца есть и у обычных машин переменного тока.

1612. Все обмотки трансформатора питаются переменным током.

1613. Учтите, что при изменении скольжения двигателя меняется скорость вращения ротора генератора.

1614. Напряжение на выходе преобразователя ИСЧ-5 поддерживается практически постоянным при изменении величины нагрузки за счет включения стабилизирующего трансформатора. Характер нагрузки мало влияет на величину выходного напряжения.

1615. К скорости вращения ротора добавьте скорость вращения магнитного поля статора синхронного генератора.

1616. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/мин.}$$

1617. Правильно.

1618. Направление магнитного потока трансформатора всегда совпадает с осью сердечника.

1619. Правильно.

1620. Воспользуйтесь формулой $P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{мех.}}$

1621. Сопротивление пускового реостата значительно превышает активное сопротивление ротора.

1622. Вы перепутали источники вращающегося магнитного поля и активной мощности.

1623. Правильно. Пусковой момент синхронного двигателя равен нулю.

1624. Из формулы $n_2 = \frac{60f_1}{p}(1-s)$ следует, что, последовательно изменяя частоту, можно плавно и в широких пределах менять скорость асинхронного двигателя.

1625. По сравнению с пусковой рабочая обмотка в период пуска имеет значительно большее индуктивное сопротивление, так как она сцепляется с большим магнитным потоком.

1626. Правильно.

1627. В момент пуска образуется вращающееся магнитное поле, в рабочем режиме — пульсирующее.

1628. Коэффициент мощности однофазных асинхронных двигателей действительно невелик (0,62 : 0,72), что является недостатком этих двигателей.

1629. Правильно. Из векторной диаграммы видно, что при увеличении модуля вектора $E_{\text{ин}}$ угол ϕ уменьшается, следовательно, $\cos \phi$ становится больше.

1630. Правильно. Эти потери изменяются с изменением нагрузки синхронной машины.

1631. Правильно. Коэффициент трансформации равен отношению э. д. с. обмоток статора и ротора.

1632. Правильно.

1633. Правильно:
$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{P_{\text{м.рот}}}{\omega_1 s} = \frac{m I_2^2 r_2}{\omega_1 s}.$$

1634. Скорость вращения ротора определяется через скольжение: $n_2 = n_1(1-s)$. Зависимость скорости от механической мощности на валу относится к рабочим характеристикам двигателя.

1635. Примите во внимание, что ток катушек индуктивности создает в генераторе магнитный поток, который будет вычитаться из магнитного потока остаточного магнетизма.

1636. Правильно. При соединении звездой напряжение на фазе обмотки в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного.

1637. За счет изменения числа пар полюсов можно получить только ступенчатое регулирование скорости асинхронного двигателя.

1638. По мере раскручивания ротора изменяется скольжение, а следовательно, и индуктивное сопротивление обмоток, пропорциональное скольжению.

1639. Правильно. Пределы регулирования определяются удвоенным значением э. д. с. статора.

1640. Заменяв активное сопротивление конденсатором, можно сдвинуть по фазе токи в обмотках А и В, получить вращающееся магнитное поле и пусковой момент.

1641. И в том и в другом случае магнитную систему изготавливают из электротехнической стали.

1642. Внимательно изучите векторную диаграмму. Величины каких векторов изменяются при изменении нагрузки? Меняется ли при этом угол ϕ ?

1643. Правильно. Постоянные потери равны мощности, потребляемой двигателем в режиме холостого хода.

1644. Коэффициент трансформации равен отношению э. д. с. обмотки статора к э. д. с. обмотки ротора.

1645. Правильно.

1646. Правильные подстановки указаны в консультации к первой строке ответов.

1647. Зависимости коэффициента мощности и к. п. д. от механической мощности на валу относят к рабочим характеристикам двигателя.

1648. Правильно. Магнитный поток, создаваемый в машине токами катушек индуктивности, полностью размагнитит генератор.

1649. Ток в обмотке определяют по закону Ома:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{220}{22} = 10 \text{ А.}$$

1650. Правильно. Сопротивление цепи обмотки ротора регулируют при помощи реостатов, включенных через щетки и контактные кольца последовательно с обмоткой ротора.

1651. Индуктивное сопротивление клеток изменяется одинаково по мере раскрутки ротора и извлечения скользящих.

1652. Вспомните условия параллельной работы трансформаторов. Учтите, что э. д. с. при повороте ротора меняет фазу.

1653. В однофазном двигателе с расщепленными полюсами образуется бегущее магнитное поле.

1654. И в том и в другом случае назначение магнитной системы одно и то же: обеспечить получение необходимого потока возбуждения.

1655. Такое название этим двигателям дано потому, что они универсальны по отношению к источникам питания.

1656. Правильно. Магнитный поток возбуждения увеличивается, скорость двигателя уменьшается.

1657. Правильно. При смещении щеток с физической нейтрали в короткозамкнутых секциях обмотки якоря будут наводиться э. д. с. и возникнут большие токи, что приведет к искрению под щетками и перегреву коллектора.

1658. Учтите, что для поддержания мощности, неизменной при снижении напряжения, ток должен быть увеличен.

1659. Найдите более полный ответ.

1660. Вы ошибаетесь. При загрязнении машины ухудшаются условия теплоотдачи обмоток и коммутации.

1661. При появлении напряжения на зажимах генератора его полюса сразу намагнитятся.

1662. Если щетки слабо прижаты к коллектору, они вибрируют, при этом искрение увеличивается.

1663. При ослабленной изоляции между обмоткой и корпусом перенапряжения вызывают пробой, сопровождаемый потрескиванием.

1664. Найдите более точный ответ.

1665. Найдите более полный ответ.

1666. Необходимо увеличить напряжение питания.

1667. Вы ошиблись в вычислениях. Вот правильное решение: $P_{\text{доб}} = 0,005 P_n = 0,005 \cdot 100\,000 = 500 \text{ Вт.}$

1668. Правильно: $z_2' = k^2 z_2 = 5^2 \cdot 2 = 50 \text{ Ом.}$

1669. Правильно: $P_1 = 3U_{\text{эл}} I_{\text{эл}} \cos \varphi_1 = 3 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 0,8 = 480 \text{ Вт.}$

1670. Правильно. Вращающий момент пропорционален квадрату напряжения.

1671. При спятии рабочих характеристик асинхронного двигателя постоянными поддерживают величину и частоту напряжения питания.

1672. Индуктивная нагрузка размагничивает генератор.

1673. Правильно. Поскольку пусковой момент значительно уменьшается при снижении напряжения, запуск двигателя должен производиться при отключенной нагрузке.

1674. Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей при равных условиях не ниже к. п. д. других электрических машин.

1675. Активные сопротивления пусковой и рабочей обмоток различны, поэтому различны и токи, протекающие в обмотках.

1676. Магнитное поле нуллируется вдоль оси статора.

1677. Обратное поле индуцирует в роторе ток частотой $f_2 = f_1 (2 - s_1) = f_1 s_2 = 50 \cdot 1,95 = 97,5$ Гц.

1678. Правильно. Таким способом нельзя изменить направление вращения однофазного коллекторного двигателя.

1679. Низкий к. п. д. и малый коэффициент мощности — недостатки, присущие однофазным коллекторным двигателям.

1680. Правильно: чтобы поддерживать постоянным напряжение генератора при $n = 0,5 n_{\text{н}}$, нужно в 2 раза увеличить ток в обмотке возбуждения; при этом количество выделяющегося в обмотке тепла увеличится в 4 раза.

1681. Посмотрите консультацию 1809.

1682. Это правильный, но неполный ответ.

1683. Правильно. «Пожар стали» вызывается резко увеличенными вихревыми токами при нарушении изоляции между листами стали сердечника.

1684. При сдвиге щеток с физической нейтральной на некоторый угол э. д. с. и напряжение генератора несколько снижаются, но не столь значительно, как сказано в условии задачи.

1685. Уменьшение скорости вращения генератора приводит к уменьшению э. д. с. и тока, но не увеличивает искрения под щетками.

1686. При межвитковых замыканиях в обмотках трансформатора уровень гуления повышается.

1687. В этом случае напряжения будут неодинаковы даже при холостом ходе трансформатора.

1688. Правильно.

1689. Это неполный ответ.

1690. Правильно, скорость вращения синхронного двигателя пропорциональна частоте напряжения питания.

1691. Статоры реактивного и обычного синхронных двигателей одинаковы.

1692. Вы ошиблись. Посмотрите правильное решение:

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = \frac{3000 - 2940}{3000} = 0,02 = 2\%.$$

1693. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$f_2 = sf_1 = 0,02 \cdot 50 = 1 \text{ Гц.}$$

1694. Воспользуйтесь формулой $P_{\text{м.рот}} = 3I_{2\phi}^2 r_2$, подставив в нее данные из условия первого вопроса.

1695. При увеличении скольжения от 0 до $s_{\text{кр}}$ вращающий момент повышается; при дальнейшем увеличении скольжения до 1 вращающий момент уменьшается.

1696. Вспомните, как связаны между собой скольжение и скорость ротора асинхронного двигателя.

1697. Правильно, к. п. д. асинхронных генераторов примерно такой же, как синхронных.

1698. Правильно. Пусковой момент будет наибольшим, когда $s_{\text{кр}} = 1$. Следовательно, $r_2' = x_k = x_1 + x_2' = 2,5 + 2,5 = 5$ Ом.

1699. Правильно. Для изменения порядка следования фаз необходимо поменять местами любые два провода из трех, идущих к обмотке статора.

1700. При увеличении активного сопротивления обмотки ротора повышается скольжение $s_{\text{кр}}$, соответственно увеличивается и пусковой момент.

1701. Индуктивное сопротивление обмотки прямо пропорционально частоте тока, поэтому отношение индуктивных сопротивлений равно отношению частот.

1702. Правильно, частота противо-э. д. с. однофазного коллекторного двигателя равна частоте сети.

1703. Двигатель-генераторные агрегаты составляют из серийных электрических машин. Они надежны в работе и просты в обслуживании.

1704. Однофазный преобразователь можно использовать для получения трехфазного тока, подведя к трем контактным кольцам отпайки от трех точек обмотки якоря, сдвинутых на 120° .

$$1705. \text{Правильно: } U_{\Phi} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{2} U_n = \frac{\sin \frac{\pi}{3}}{2} 100 = \frac{1}{2} \cdot 100 = 61,3 \text{ В.}$$

1706. Учтите, что при изменении нагрузки изменяется магнитный поток серпесных обмоток стабилизирующего трансформатора.

1707. Вспомните, что преобразователь частоты ПСЧ-5 снабжен стабилизирующим трансформатором.

$$1708. \text{Правильно: } n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об/мин.}$$

1709. Ротор вращается относительно поля со скоростью 4000 об/мин, поэтому $f = \frac{p n}{60} = \frac{3 \cdot 4000}{60} = 200 \text{ Гц.}$

1710. С повышением частоты напряжения питания расчетная масса двигателя переменного тока уменьшается.

$$1711. \text{Правильно, ротор вращается с синхронной скоростью } n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 100}{1} = 6000 \text{ об/мин.}$$

1712. Правильно.

1713. Правильно. В реактивном синхронном двигателе максимальный момент достигается при угле θ , в 2 раза меньшем, чем в обычном синхронном двигателе.

1714. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$n_2 = \frac{60f}{p} (1 - s) = 60 \cdot 50 (1 - 0,05) = 2850 \text{ об/мин}$$

1715. В случае 6 обмотки соединены треугольником.

1716. Вы неправильно определили r_2 .

1717. Правильно: $P_{\text{мех}} = P_{\text{эм}} = P_{\text{м.рот}} = 460 - 30 = 430 \text{ Вт. } P_2 = P_{\text{мех}} = -P_{\text{доб}} = 430 - 5 = 425 \text{ Вт.}$

1718. На неустойчивой части кривой $M = f(s)$ вращающий момент уменьшается с увеличением нагрузки.

1719. При определении режима работы асинхронной машины учитывают не скорость вращения магнитного поля ротора, а скорость n_2 вращения самого ротора. Скорости магнитных полей статора и ротора одинаковы.

1720. Нулевой момент асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора примерно равен номинальному.

1721. Воспользуйтесь формулой приведения сопротивлений: $r' = k^2 r$.

1722. Правильно. Барабанный переключатель не предназначен для перевода асинхронного двигателя в режим работы генератором.

1723. Вспомните, что нижняя часть стержней сцеплена с большим магнитным потоком, чем верхняя.

1724. Правильно.

1725. Правильно. В пульсирующем магнитном поле на ротор, пока он неподвижен, не действует вращающий момент.

1726. Эти э. д. с. совпадают по фазе.

1727. Наоборот, скорость двигателя будет быстро увеличиваться.

1728. Правильно. Электрические машины обратимы, поэтому синхронный двигатель можно использовать в качестве генератора трехфазного тока, а генератор постоянного тока — в качестве двигателя.

1729. Возможность плавного регулирования выходных величин — одно из достоинств двигатель-генераторных преобразователей.

1730. Коллектор есть и у обычных машин постоянного тока.

1731. Такой ток протекает через серпесные обмотки стабилизирующего трансформатора.

1732. Учтите, что при увеличении нагрузки магнитный поток серийных обмоток стабилизирующего трансформатора увеличивается.

1733. Правильно, стабилизирующий трансформатор практически исключает влияние нагрузки на величину выходного напряжения преобразователя типа ПСЧ-5.

1734. Правильно. К скорости вращения ротора добавляется скорость вращения магнитного поля статора синхронного генератора.

$$1735. \text{Правильно: } n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/мин.}$$

1736. Когда ротор удален, частота токов в первичной и вторичной обмотках преобразователя одинакова (так же как в первичной и вторичной обмотках трансформатора).

1737. Правильно. По этим характеристикам реактивный двигатель значительно уступает обычному синхронному двигателю.

1738. Правильно. При увеличении механической нагрузки скорость ротора уменьшится, а скольжение увеличится.

1739. Правильно. Все векторы приведены к частоте э. д. с. неподвижного ротора, равной частоте э. д. с. статора.

1740. Правильно. $\omega_1 > \omega_2$, соответственно и электромагнитная мощность больше полной механической мощности на величину тепловых потерь в роторе.

1741. Максимальный момент асинхронного двигателя не зависит от величины активного сопротивления цепи ротора.

1742. Асинхронный генератор потребляет реактивную мощность из сети.

1743. При указанных условиях короткозамкнутый асинхронный двигатель мощностью 20 кВт может быть запущен прямым включением в сеть.

1744. Еще раз внимательно изучите порядок останова асинхронного двигателя с пусковым реостатом.

1745. Правильно. Вследствие этого скольжение $s_{\text{кр}}$ у пусковой обмотки больше, чем у рабочей, а пусковой момент двигателя увеличен.

1746. Правильно.

1747. Правильно.

1748. Внимательно посмотрите, как изменяются величины векторов и углов на векторной диаграмме при изменении частоты f_1 сети.

1749. Вспомните правило левой руки, по которому находят направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

1750. Правильно.

1751. Приведенное индуктивное сопротивление не уменьшается в s раз; уменьшается в s раз только приведенное активное сопротивление.

1752. Вы ошиблись. Посмотрите правильное решение:

$$s = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эм}}} = \frac{P_{\text{эм}} - P_{\text{мех}}}{P_{\text{эм}}} = \frac{500 - 470}{500} = 0,06 = 6\%.$$

1753. Правильно. Сопротивление пускового реостата примерно в 10 раз превышает активное сопротивление обмотки ротора.

1754. В случае параллельной работы с сетью асинхронный генератор вырабатывает напряжение, частота которого равна частоте напряжения сети.

1755. Правильно. При соединении треугольником каждая фаза обмотки двигателя находится под линейным напряжением 220 В, следовательно, $U_{\text{ф}} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ В}$; линейный ток в $\sqrt{3}$ раз больше фазного $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}} \approx 10 \text{ А}$.

1756. Правильно.

1757. Правильно. Рабочая обмотка соединена с большим количеством магнитных силовых линий, чем пусковая.

1758. Складываются напряжение сети и э. д. с. статора, а не ротора.

1759. Начальная фаза изменяется пропорционально углу поворота ротора.

1760. Правильно.

1761. Пусковые токи однофазных асинхронных двигателей в 7–9 раз превышают их номинальные токи. Большой пусковой ток — один из недостатков однофазного двигателя.

1762. Обратите внимание на то, что при увеличении модуля вектора $E_{вр}$ угол φ уменьшается, а модуль вектора E_{Σ} пропорционален скорости вращения явора.

1763. При неподвижном роторе отсутствуют механические потери, которые составляют часть постоянных потерь.

1764. Правильно. При помощи контактных колец и щеток последовательно с обмоткой ротора включают пусковые или регулировочные реостаты.

1765. Коэффициент трансформации асинхронного двигателя равен отношению э. д. с. обмоток статора и ротора.

1766. Ток, потребляемый статором, зависит от скольжения.

1767. Поскольку повысился вращающий момент, увеличилось и скольжение, а тепловые потери в обмотке ротора пропорциональны скольжению.

1768. Правильно.

1769. Правильно. При изменении скорости вращения ротора изменяются скольжение и частота генератора.

1770. В случае соединения звездой линейный ток равен фазному.

1771. Таким способом осуществляется плавное регулирование скорости в двигателях с фазным ротором.

1772. Правильно. Во время пуска индуктивное сопротивление пусковой обмотки меньше, чем рабочей, и ток вытекает из рабочей обмотки в пусковую.

1773. Правильно.

1774. Пульсирующее магнитное поле можно рассматривать как сумму двух вращающихся магнитных полей.

1775. Пусковой момент однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами не равен нулю.

1776. Правильно. Магнитный поток возбуждения однофазного коллекторного двигателя изменится по величине (пульсирует), поэтому магнитную систему набирают из отдельных листов электротехнической стали, чтобы снизить тепловые потери на вихревые токи.

1777. Когда питание осуществляется от сети постоянного тока, обмотку возбуждения включают полностью.

1778. При изменении сопротивления реостата изменяется магнитный поток возбуждения, а следовательно, и скорость вращения двигателя.

1779. Потери на вихревые токи относят к постоянным потерям синхронной машины.

1780. Потери на перемагничивание не зависят от формы детали.

1781. Магнитный поток обмотки статора вращается с угловой скоростью ω ; величина его с течением времени не меняется.

1782. Это неполный ответ.

1783. Надо использовать равенства: $P_{\Sigma\text{м}} = -\frac{P_{\text{м.рот}}}{s}$; $P_{\text{м.рот}} = mI_2^2 r_2$. Последовательные подстановки делают так:

$$M = \frac{P_{\Sigma\text{м}}}{\omega_1} = \frac{P_{\text{м.рот}}}{\omega_1 s} = \frac{mI_2^2 r_2}{\omega_1 s}.$$

1784. Размерность мощности двигателя, подставляемой в формулу $M = 9,55 \frac{P_2}{n_2}$ — Вт, тогда размерность момента — Н·м.

1785. Учтите, что ротор асинхронного генератора вращается со скоростью большей, чем синхронная.

1786. Такие значения напряжения и тока соответствуют соединению обмоток треугольником.

1787. Правильно. Это основной недостаток короткозамкнутого асинхронного двигателя.

1788. Вспомните, как зависит скольжение от скорости вращения ротора и как зависит индуктивное сопротивление обмотки от скольжения.

1789. Э. д. с. статора не только прибавляется к напряжению сети, но и вычитается из него.

1790. Правильно. Включив конденсатор, можно получить вращающееся магнитное поле.

1791. Правильно.

1792. Коэффициент мощности однофазного коллекторного двигателя при изменении величины тока нагрузки не изменяется.

1793. Подумайте, как изменяются ток в обмотке возбуждения и магнитный поток при увеличении сопротивления ротора.

1794. Вы ошиблись в вычислениях. Вот правильное решение:

$$P_M = m I_{\phi}^2 r_{\phi} = 3 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 150 \text{ Вт.}$$

1795. Число катушек обмотки статора двигателя с фазной и с короткозамкнутой обмоткой ротора может быть одинаковым.

1796. Поскольку $k \neq 1$, приведенное значение э. д. с. не может быть равно ее действительному значению.

1797. На устойчивом участке работы двигателя с увеличением скольжения повышается вращающий момент и становится больше ток, потребляемый двигателем из сети.

1798. Вращающий момент асинхронного двигателя существенным образом зависит от напряжения питания обмотки статора.

1799. При построении рабочих характеристик асинхронного двигателя механическая мощность P_2 на валу является независимой переменной. При изменении мощности P_2 скорость ротора асинхронного двигателя изменяется.

1800. Правильно. Индуктивная нагрузка размагничивает генератор.

1801. Сравните значения токов, найденные при ответах на первый и третий вопросы. Вращающий момент пропорционален току.

1802. Укажите более существенный недостаток.

1803. Правильно. Активное сопротивление рабочей обмотки меньше, чем нулевой, поэтому основная часть тока протекает по рабочей обмотке.

1804. Индукционные регуляторы применяют для регулирования как низких, так и высоких напряжений.

1805. Скольжение относительно прямого поля значительно меньше, чем относительно обратного.

1806. В отличие от обычных однофазных асинхронных двигателей двигатель с расщепленными полюсами не нуждается в нулевой обмотке.

1807. Правильно. В этом случае трансформаторные э. д. с., индуцируемые в витках обмотки, взаимно компенсируются.

1808. Вы ошиблись: $e = \frac{115}{100} = 1,15 \text{ В}$; $r = \frac{0,1}{100} = 0,001 \text{ Ом}$; $I = \frac{e}{r} = \frac{1,15}{0,001} = 1150 \text{ А}$.

1809. Правильно. Чем более выражен индуктивный характер нагрузки (чем меньше $\cos \varphi$), тем сильнее размагничивающее действие реакции якоря и меньше э. д. с. генератора. Чтобы поддерживать э. д. с. постоянной, нужно увеличивать ток возбуждения, что приводит к повышенному нагреву обмотки ротора (индуктора).

1810. Правильно.

1811. Когда якорь вращается по инерции, электрические причины вибрации отсутствуют, так как машина обесточена.

1812. Правильно. При этом магнитный поток обмотки возбуждения направлен навстречу потоку остаточного магнетизма и машина полностью размагничивается.

1813. Правильно.

1814. При этом уровень гудения трансформатора будет повышен.

1815. Правильно.

1816. Эти несправности встречаются сравнительно редко.

1817. Это неполный ответ.

1818. Скорость синхронного двигателя не зависит от момента нагрузки.

1819. Вы ошиблись. Посмотрите порядок решения задачи в пояснении к первой строке ответов.

1820. Правильно. При соединении звездой фазное напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного, следовательно, каждая катушка трехфазной обмотки окажется под расчетным напряжением.

1821. Такой была бы частота тока в неподвижном роторе (при $s = 1$).

1822. Правильно: $P_{\text{м.ст}} = 3I_{\text{ф1}}^2 r_1 = 3 \cdot 2^2 \cdot 1 = 12 \text{ Вт}$.

1823. Брацающий момент уменьшается при увеличении скольжения от критического значения $s_{\text{кр}}$ до единицы.

1824. Правильно. Развернутое обоснование этого ответа посмотрите в консультации к первой строке.

1825. Сложность регулирования напряжения — один из недостатков асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением.

1826. Для того чтобы пусковой момент был наибольшим, критическое скольжение должно равняться единице. Следовательно $r'_2 = x_k = x_1 + x'_2 = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ Ом}$.

1827. Правильно. Для изменения порядка следования фаз достаточно поменять местами два любых провода из трех, идущих к асинхронному двигателю от сети.

1828. Активное сопротивление провода R и площадь его поперечного сечения S связаны зависимостью $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление, l — длина провода.

1829. Правильно.

1830. Правильно. Прямое поле индуцирует ток с частотой $f_2 = f_1 s_1 = 50 \cdot 0,05 = 2,5 \text{ Гц}$; обратное поле — с частотой $f_2 = f_1 s_2 = f_1 (1 - s_1) = 50 \cdot 1,95 = 97,5 \text{ Гц}$.

1831. Вы ошибаетесь. При изменении направления тока в обмотке возбуждения направление вращения двигателя тоже изменится.

1832. Вы ошиблись в вычислениях: э. д. с. одного витка в 100 раз меньше, чем э. д. с. генератора, но и сопротивление одного витка в 100 раз меньше сопротивления параллельной ветви.

1833. При смещении щеток с физической нейтрали в короткозамкнутых секциях обмотки якоря возникнут э. д. с. и большие токи, условия коммутации ухудшатся.

1834. Посмотрите консультацию к первой строке ответов.

1835. Правильно.

1836. При снижении скорости вращения генератора напряжение на его зажимах уменьшается, но не до нуля.

1837. В этом случае напряжение генератора было бы очень малым, так как ток возбуждения равен нулю.

1838. Во время перегрузки генератора увеличивается плотность тока под щетками, что сопровождается усилением искрения.

1839. Повреждение заземления вызывает накопление статического электричества на изолированных от земли деталях, вследствие чего возникают электрические разряды, сопровождаемые потрескиванием.

1840. При повышенной нагрузке — можно.

1841. Найдите более полный ответ.

1842. Правильно.

1843. Реактивный синхронный двигатель пускают в ход обычно методом асинхронного пуска при помощи пусковой обмотки.

1844. Правильно: $n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 500}{4} = 30\,000 \text{ об/мин}$; $\Delta n = n_1 - n_2 = 30\,000 - 28\,500 = 1\,500 \text{ об/мин}$; $s = \frac{\Delta n}{n_1} = \frac{1\,500}{30\,000} = 0,05 = 5\%$.

1845. Вспомните правила соединения катушек в звезду и треугольник.

1846. Правильно: $E_{2\text{с}} = sE_2 = 0,04 \cdot 20 = 0,8 \text{ В}$.

1847. Электромагнитная мощность $P_{\text{эм}}$ равна мощности P_1 , потребляемой двигателем из сети, за вычетом потерь $P_{\text{ст}}$ в стали и потерь $P_{\text{м.ст}}$ в меди статора.

1848. Подумайте, как изменяются при уменьшении скольжения э. д. с. и индуктивное сопротивление обмотки ротора.

1849. Правильно.

1850. Правильно: и в режиме короткого замыкания, и в первый момент после подключения обмотки статора к сети ротор асинхронного двигателя неподвижен.

1851. Воспользуйтесь соотношением: $r'_{\text{рест}} = r'_2 - r'_{\text{рост}}$.

1852. При помощи барабанного переключателя можно остановить асинхронный двигатель.

1853. Правильно. При увеличении активного сопротивления обмотки ротора повышается критическое скольжение (на характеристике $M = f(s)$ сдвигается вправо). При этом пусковой момент двигателя увеличивается.

1854. Поворот ротора на 180° сопровождается изменением напряжения на выходе регулятора от $+100$ до -100 В.

1855. Момент, действующий на неподвижный ротор в пульсирующем магнитном поле, равен нулю.

1856. Частота против-э. д. с. однофазного коллекторного двигателя равна частоте сети, от которой питается двигатель.

1857. Электрические машины обратимы, поэтому рассматриваемый двигатель-генераторный агрегат можно использовать как для преобразования постоянного тока в трехфазный, так и для превращения трехфазного в постоянный.

1858. Правильно. Обычно коллектор и контактные кольца располагают по разные стороны от якоря.

1859. Правильно.

1860. При увеличении скольжения скорость вращения двигателя уменьшается. Одновременно уменьшаются скорость вращения ротора генератора и частота напряжения на выходе преобразователя.

1861. Воспользуйтесь формулой $n_1 = \frac{60f}{p}$.

1862. Вы ошиблись: $f = \frac{pn}{60} = \frac{3 \cdot 4000}{60} = 200$ Гц.

1863. Чем больше частота, тем меньше расчетная масса двигателя переменного тока.

1864. Первичная обмотка создает вращающееся магнитное поле, которое пересекает витки вторичной обмотки и наводит в них э. д. с.

1865. Правильно. Напряжение на выходе индуцируется четвертой гармоникой магнитного потока.

1866. Это неполный ответ.

1867. Ротор будет вращаться и в том и в другом случае. Но когда ротор из магнитотвердого материала намагнитится, двигатель перестанет быть реактивным.

1868. Правильно: $n_2 = \frac{60f}{p} (1-s) = \frac{60 \cdot 50}{4} (1-0,05) = 2850$ об/мин.

1869. О наличии вентилятора в маркировке двигателя свидетельствует буква О (обдуваемое исполнение).

1870. Вы неправильно определили $x_2 s$.

1871. Правильно: $P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{400}{0,8} = 500$ Вт.

1872. На устойчивой части кривой $M = f(s)$ вращающий момент увеличивается при увеличении нагрузки.

1873. Асинхронный генератор работает с отрицательным скольжением.

1874. Правильно. Пусковые характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора неудовлетворительны.

1875. Вы ошиблись. Вот правильное решение:

$$r_{\text{рест}} = \frac{r'_{\text{рест}}}{k^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом.}$$

1876. Правильно. При этом меняются порядок следования фаз и направление вращения магнитного поля статора.

1877. Правильно. В области малых скольжений эффект вытеснения тока к поверхности паза практически отсутствует.

1878. К двигателю надо подвести удвоенное фазное напряжение.

1879. У двигателя типа АОЛБ пусковая обмотка выключается отдельно установленным выключателем.

1880. Эти э. д. с. сдвинуты по фазе на угол 90° .

1881. Правильно. Так же как двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением, однофазный коллекторный двигатель при сытии механической нагрузки идет «вразнос».

1882. Ротор реактивного синхронного двигателя изготавливают из магнитомягкого материала.

1883. Сила тока в обмотке ротора зависит от скольжения.

1884. Воспользуйтесь формулой $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P}$.

1885. Вы ошиблись: $k_M = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = \frac{40}{20} = 2$.

1886. Правильно.

1887. Правильно. Даже при редких пусках предельная мощность короткозамкнутого двигателя установлена на уровне 8% мощности трансформатора, питающего силовую и осветительную нагрузки.

1888. На время пуска пусковой реостат должен быть введен, по окончании его — полностью выведен, так как реостат рассчитан на кратковременный режим работы.

1889. Правильно. Броски тока нарушают нормальную работу электросети и потребителей электроэнергии и увеличивают нагрев обмотки статора.

1890. Коэффициент мощности названных двигателей несколько меньше, чем двигателей обычной конструкции.

1891. Угол сдвига по фазе между током и напряжением в ветви обычно определяют по его тангенсу: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{z}$. Из этой формулы видно, что значения $\operatorname{tg} \varphi$ и угла φ в обмотке B другие, нежели в обмотках A и C .

1892. Правильно.

1893. Так же как двигатели постоянного тока, однофазные коллекторные двигатели потребляют при запуске ток, превышающие номинальные в несколько раз. Это недостаток коллекторных двигателей.

1894. Реактивный синхронный двигатель будет работать и от сети однофазного тока, если его ротор предварительно раскрутить.

1895. При увеличении механической нагрузки на валу скорость ротора уменьшается, а скольжение повышается.

1896. Магнитный поток трансформатора изменяется по величине, но направлен всегда вдоль магнитопровода.

1897. Векторы вращаются со скоростью вращения магнитного поля статора (ω_1).

1898. Тепловые потери в обмотке ротора равны разности электромагнитной и полной механической мощностей двигателя:

$$P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{мех}} \text{ и}$$

1899. Пусковой момент повышается при увеличении активного сопротивления цепи ротора, максимальный момент не изменяется.

1900. Еще раз подумайте, в чем заключается физическая сущность работы асинхронного генератора.

1901. Вспомните устройство и принцип работы синхронного двигателя. Чему равен пусковой момент синхронного двигателя?

1902. Дайте более развернутый ответ.

1903. Активное сопротивление пусковой обмотки больше, чем рабочей.

1904. При работе трехфазного асинхронного двигателя в режиме индукционного регулятора его ротор неподвижен.

1905. В рабочем режиме, когда обмотка B выключена, образуется пульсирующее магнитное поле.

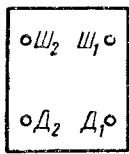
1906. Однофазные асинхронные двигатели имеют к. п. д. порядка 0,4—0,7, что значительно ниже к. п. д. трехфазных асинхронных и синхронных двигателей.

1907. Внимательно рассмотрите векторную диаграмму однофазного коллекторного двигателя. Обратите внимание на то, что при повышении скорости вращения якоря значение э. д. с. $E_{\text{вр}}$ увеличивается,

ОБРАЗЦЫ КАРТОЧЕК ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГОТОВНОСТИ УЧАЩИХСЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

КАРТОЧКА № 1

Лабораторная работа. Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода

Контрольная лампа, присоединенная к двум клеммам на доске зажимов генератора, ярко загорелась. Какая обмотка подведена к этим клеммам?	Серпесная обмотка возбуждения
	Обмотка якоря
	Обмотка якоря или серпесная обмотка возбуждения
	Шунтовая обмотка возбуждения
Изображена клеммная доска машины типа ПН-28,5. К каким клеммам подходит обмотка якоря машины? 	D_1, C_1
	D_1, D_2
	$D_1, Ш_2$
	C_1, D_2
Якорь генератора вращается с номинальной скоростью. К каким клеммам надо присоединить вольтметр, чтобы измерить э. д. с. остаточного магнетизма? 	$Ш_1, Ш_2$
	D_1, D_2
	$D_1, Ш_1$
	$D_2, Ш_2$
Сколько измерительных приборов необходимо для снятия характеристики холостого хода?	Два вольтметра и один амперметр
	Два амперметра и один вольтметр
	Один амперметр и один вольтметр
	Два амперметра и два вольтметра

При включении контрольной лампы между клеммой доски зажимов генератора и коллекторной пластиной лампа ярко загорелась.

Конец какой обмотки присоединен к клемме, если перемычки на доске зажимов сняты?

Конец серийной обмотки возбуждения

Конец обмотки якоря

Конец шунтовой обмотки возбуждения

КАРТОЧКА № 2

Лабораторная работа. Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода

К каким клеммам подходит обмотка последовательного возбуждения машины типа ПИ-85?



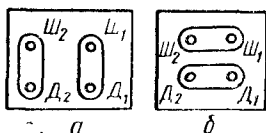
D_1, D_2

III_1, III_2

C_1, C_2

C_1, D_2

При каком положении перемычек может произойти возбуждение генератора?



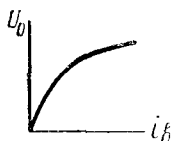
a

b

В обоих случаях

Ни при каком

Чем объясняется изгиб характеристики холостого хода?



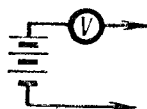
Реакцией якоря

Насыщением магнитопровода

Реакцией якоря и насыщением магнитопровода

При подключении к клеммам генератора контрольного вольтметра стрелка отклоняется. При подключении к этим же клеммам контрольной лампы лампа не горит.

Какая обмотка включена между клеммами?



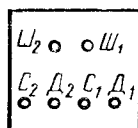
Серийная обмотка возбуждения

Шунтовая обмотка возбуждения

Обмотка якоря

Для ответа на вопрос недостаточно данных

К каким клеммам подходит обмотка параллельного возбуждения машины типа ПН-100?



U_2, U_1

U_1, U_2

C_1, C_2

C_1, D_2

КАРТОЧКА № 3

Лабораторная работа. Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода

Какое из приведенных условий не является условием самовозбуждения генератора?

Малое сопротивление цепи возбуждения

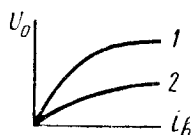
Малое сопротивление обмотки якоря

Наличие э. д. с. остаточного магнетизма

Правильная полярность тока в обмотке возбуждения

Характеристика холостого хода 2 снята при скорости $n = 725$ об/мин.

При какой скорости снята характеристика 1?



1450 об/мин

725 об/мин

Для ответа на вопрос недостаточно данных

2900 об/мин

Контрольная лампа, присоединенная к двум клеммам на доске зажимов генератора, не загорелась.

Какая обмотка подведена к этим клеммам?

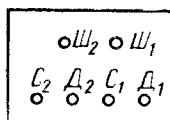
Шунтовая обмотка возбуждения

Серийная обмотка возбуждения

Обмотка якоря

Для ответа на вопрос недостаточно данных

К каким клеммам подходят концы обмотки дополнительных полюсов машины типа ПН-290?



U_1, C_1

U_1, D_2

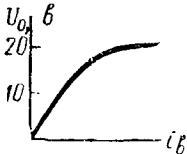
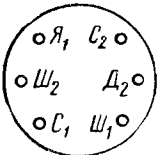
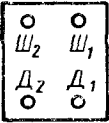
U_1, U_2

C_1, D_2

Генератор работает в режиме холостого хода при номинальной скорости вращения. Как изменится показание вольтметра, присоединенного к зажимам генератора, если сместить щетки с геометрической нейтральной?	Не изменится
	Увеличится
	Уменьшится
	Для ответа на вопрос надо знать, в какую сторону смещают щетки

КАРТОЧКА № 4

Лабораторная работа. Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода

Определите по графику примерное значение номинального напряжения генератора 	15 В
	20 В
	25 В
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
К каким клеммам подходит обмотка якоря машины типа ПП 5? 	$Я_1, C_2$
	$Я_1, D_2$
	$Я_1, Ш_2$
	$Я_1, C_1$
К каким клеммам подсоединена обмотка параллельного возбуждения машины типа ПП-400? 	$Ш_1, Ш_2$
	$Ш_1, D_1$
	D_1, D_2
	$D_2, Ш_2$
Генератор работает в режиме холостого хода при номинальной скорости вращения. При каком положении щеток напряжение на зажимах генератора будет максимальным?	Щетки расположены на геометрической нейтральной
	Щетки расположены на физической нейтральной
	Щетки расположены на оси полюсов

При каком токе возбуждения измеряют Э. д. с. остаточного магнетизма?	Максимальном
	Минимальном
	Близком к нулю
	Равном нулю

КАРТОЧКА № 5

Лабораторная работа. Снятие характеристик генератора постоянного тока при нагрузке

Сколько измерительных приборов необходимо иметь для снятия внешней характеристики генератора?	Два вольтметра и один амперметр
	Один вольтметр и один амперметр
	Два амперметра и один вольтметр
	Два амперметра и два вольтметра
Сколько измерительных приборов нужно иметь для снятия регулировочной характеристики?	Два вольтметра и один амперметр
	Один вольтметр и один амперметр
	Два амперметра и один вольтметр
	Два амперметра и два вольтметра
У генератора с независимым возбуждением при увеличении тока нагрузки напряжение на зажимах уменьшается вследствие (укажите правильный ответ)	увеличения реакции якоря
	увеличения падения напряжения в обмотке якоря
	уменьшения магнитного потока, создаваемого током возбуждения
Как надо изменять сопротивление цепи возбуждения шунтового генератора, чтобы при увеличении тока нагрузки напряжение генератора поддерживать постоянным?	Увеличивать
	Уменьшать
	Не надо изменять
У генератора с параллельным возбуждением при увеличении тока нагрузки напряжение на зажимах уменьшается вследствие (укажите правильный ответ)	увеличения реакции якоря
	увеличения падения напряжения в обмотке якоря
	уменьшения магнитного потока, создаваемого током возбуждения
	уменьшения Э. д. с. остаточного магнетизма

КАРТОЧКА № 6

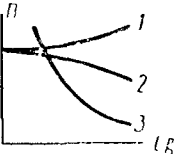
Лабораторная работа. Снятие характеристик генератора постоянного тока при нагрузке

Сколько измерительных приборов нужно иметь для снятия характеристики короткого замыкания генератора?	Два амперметра
	Два вольтметра
	Один амперметр и один вольтметр
	Один амперметр
При холостом ходе генератора напряжение на его зажимах 230 В, а при номинальном токе напряжение на зажимах 207 В. Определите процентное изменение напряжения	5%
	10%
	15%
	23%
В режиме короткого замыкания ток якоря генератора равен 10 А при токе возбуждения 0,2 А. Чему равен ток короткого замыкания при токе возбуждения 1 А?	Для ответа на вопрос недостаточно данных
	30 А
	40 А
	50 А
При номинальном токе напряжение на зажимах генератора 230 В, а с уменьшением тока до нуля напряжение повышается до 276 В. Определите процентное изменение напряжения	10%
	20%
	30%
	46%
Какой ток опасен для генератора параллельного возбуждения?	Критический ток
	Ток короткого замыкания

КАРТОЧКА № 7

Лабораторная работа. Исследование двигателей постоянного тока

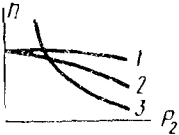
В каком положении должны находиться в первый момент пуска пускового двигателя а) пусковой реостат, б) регулировочный реостат?	а) введен; б) выведен
	а) введен; б) введен
	а) выведен; б) выведен
	а) выведен; б) введен

При номинальном напряжении U_n и номинальной нагрузке M_n скорость двигателя меньше номинальной. Как надо изменить ток возбуждения, чтобы установить номинальную скорость вращения n_n?	Увеличивать
	Уменьшать
Двигатель параллельного возбуждения работает в режиме холостого хода ($I_a \approx 0$). Что произойдет с двигателем при обрыве цепи возбуждения?	За счет изменения тока возбуждения нельзя установить номинальную скорость двигателя
	Двигатель остановится
	Скорость двигателя будет резко увеличиваться (двигатель пойдет «вразнос»)
	Ток якоря увеличится, двигатель перегреется
Какая кривая выражает зависимость скорости вращения шунтового двигателя от тока возбуждения? 	Двигатель будет вращаться по инерции с постоянной скоростью
	Кривая 1
	Кривая 2
	Кривая 3
Номинальная мощность двигателя 1 кВт, номинальная скорость вращения 1000 об/мин. Определите номинальный момент двигателя	$9,55 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$
	$9,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$
	$1 \text{ Н} \cdot \text{м}$
	$0,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$

КАРТОЧКА № 8

Лабораторная работа. Исследование двигателей постоянного тока

Механическая нагрузка на валу работающего двигателя уменьшилась. Как изменилась противо-э. д. с. двигателя?	Не изменилась
	Увеличилась
	Уменьшилась
	Для ответа на вопрос недостаточно данных

В каком случае направление вращения двигателя постоянного тока не изменится?	Изменено направление тока в обмотке якоря
	Изменено направление тока в обмотке возбуждения
	Изменено направление тока в обмотке якоря и одновременно в обмотке возбуждения
Плечо тормоза имеет длину 20 см. Сила на плече тормоза 25 Н. Определите момент на валу двигателя	500 Н·м
	50 Н·м
	5 Н·м
	1,25 Н·м
Двигатель параллельного возбуждения работает в режиме номинальной нагрузки. Что произойдет с двигателем при обрыве цепи возбуждения?	Двигатель остановится
	Скорость двигателя резко увеличится (двигатель пойдет «вразнос»)
	Якорь двигателя будет вращаться по инерции с постоянной скоростью
Какая кривая отражает зависимость скорости вращения шунтового двигателя от механической нагрузки на валу? 	Ток якоря двигателя уменьшится до тока холостого хода
	Кривая 1
	Кривая 2
	Кривая 3

КАРТОЧКА № 9

Лабораторная работа. Исследование двигателей постоянного тока

Ток якоря шунтового двигателя 10 А. Ток возбуждения 0,3 А. Определите мощность, потребляемую из сети напряжением 100 В	1000 Вт
	30 Вт
	1030 Вт
	Задача неопределенна, так как неизвестен момент нагрузки на валу

Пусковой ток двигателя параллельного возбуждения в 3 раза превышает номинальный. Во сколько раз пусковой момент больше номинального?	В 3 раза
	В 9 раз
	В 6 раз
	У двигателя параллельного возбуждения пусковой момент равен номинальному
Какой из перечисленных приборов не нужен для снятия рабочих характеристик двигателя?	Вольтметр
	Амперметр в цепи якоря
	Амперметр в цепи возбуждения
	Секундомер
Мощность, потребляемая двигателем из сети, равна 1000 Вт. Полезная мощность, отдаваемая двигателем в нагрузку, равна 850 Вт. Определите к. п. д. двигателя	1,17
	0,9
	0,85
	0,8
В момент пуска двигателя параллельного возбуждения через его якорь протекает большой (пусковой) ток, потому что	трение в подшипниках у неподвижного якоря больше, чем у вращающегося
	в момент пуска активное сопротивление якоря мало
	в момент пуска отсутствует противо-з. д. с. двигателя
	пусковой момент двигателя значительно превышает номинальный момент

КАРТОЧКА № 10

Лабораторная работа. Изучение устройства сварочной машины и автомобильных генераторов и стартеров

Укажите внешнюю характеристику сварочного генератора	
	
	

Когда размыкаются контакты реле обратного тока?	Когда напряжение генератора становится больше номинального
	Когда напряжение генератора становится меньше номинального
	Когда напряжение генератора становится меньше напряжения аккумуляторной батареи
	Когда напряжение генератора становится больше напряжения аккумуляторной батареи
Укажите требование, которое предъявляется специально к сварочному генератору	Большая мощность на выходе
	Высокий коэффициент полезного действия
	Относительное постоянство напряжения при больших колебаниях сварочного тока
Обмотка возбуждения машины намотана из толстого медного провода прямоугольного сечения. Какая это машина?	Относительное постоянство тока при больших колебаниях напряжения
	Сварочный генератор
	Автомобильный генератор
Каким образом осуществляется плавное регулирование сварочного тока?	Тракторный стартер
	Поворотом щеток сварочного генератора
	Изменением сопротивления цепи возбуждения сварочного генератора
	Изменением сопротивления в цепи нагрузки сварочного генератора

КАРТОЧКА № 11

Лабораторная работа. Изучение устройств сварочной машины и автомобильных генераторов и стартеров

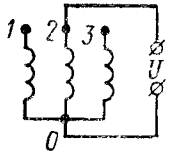
Как изменяется напряжение на зажимах сварочного генератора в процессе сварки?	Не изменяется
	Изменяется в небольших пределах
	Изменяется в широких пределах (от максимального до нуля)

Обмотка какого реле выполняется из большого числа витков тонкого провода?	Обмотка реле обратного тока
	Обмотка реле-ограничителя тока
	Обмотка реле-регулятора напряжения
За счет какого потока * создается э. д. с., питающая обмотку возбуждения сварочного генератора с расщепленными полюсами?	За счет магнитного потока основных полюсов
	За счет магнитного потока добавочных полюсов
	За счет суммы магнитных потоков основных и добавочных полюсов
Какие двигатели постоянного тока используются в качестве автомобильных и тракторных стартеров?	С параллельным возбуждением
	С последовательным возбуждением
	Со смешанным возбуждением
	С независимым возбуждением
Каким образом осуществляется ступенчатое регулирование сварочного тока?	Поворотом щеток сварочного генератора
	Изменением сопротивления цепи возбуждения сварочного генератора
	Изменением сопротивления, включенного в цепь нагрузки сварочного генератора

КАРТОЧКА № 12

Лабораторная работа. Исследование трансформаторов

Из опыта холостого хода трехфазного трансформатора найдено: $U_0 = 220$ В (линейное); $I_0 = 0,1$ А; $P_0 = 26,6$ Вт. Определите коэффициент мощности трансформатора	0,5
	0,6
	0,7
	0,8
Из опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора найдено $P_K = 45,6$ Вт; $U_K = 4,1$ В (линейное); $I_K = 40$ А. Определите коэффициент мощности трансформатора	0,5
	0,6
	0,7
	0,8

Вольтметр показывает: между точками 1 и 2 напряжение $0,5\text{ В}$; между точками 2 и 3 — $1,5\text{ В}$. Что надо сделать, чтобы получить правильное соединение обмоток в звезду? 	Обмотки соединены правильно Поменять местами концы обмотки 0—1 Поменять местами концы обмотки 0—2 Поменять местами концы обмотки 0—3
В опыте холостого хода трехфазного трансформатора измерены токи: $I_{1\text{х}} = 0,8\text{ А}$; $I_{2\text{х}} = 0,78\text{ А}$; $I_{3\text{х}} = 0,79\text{ А}$. Определите ток холостого хода трансформатора	$I_0 = 0,8\text{ А}$ $I_0 = 0,78\text{ А}$ $I_0 = 0,79\text{ А}$ По этим данным ток холостого хода определить нельзя
Из опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора найдено: $P_{\text{к}} = 30\text{ Вт}$; $I_{\text{к}} = 10\text{ А}$. Определите параметр $r_{\text{к}}$	$0,1\text{ Ом}$ $0,3\text{ Ом}$ 1 Ом 3 Ом

КАРТОЧКА № 13

Лабораторная работа. Исследование трансформаторов

Обмотки трансформатора соединены по схеме Y/Y. $U_{\text{ад}} = 110\text{ В}$; $U_{\text{AB}} = 225\text{ В}$. $U_{\text{тс}} = 112\text{ В}$; $U_{\text{BC}} = 222\text{ В}$. $U_{\text{са}} = 110\text{ В}$; $U_{\text{сА}} = 220\text{ В}$. Определите коэффициент трансформации	$k \approx 2,05$ $k \approx 1,96$ $k \approx 2,0$ Данные противоречивы, по ним нельзя определить коэффициент трансформации k
При подключении к сети схемы для проведения опыта холостого хода трансформатора	амперметры предварительно отключают ваттметры предварительно отключают амперметры и ваттметры замыкают накоротко вольтметр замыкают накоротко

Можно ли опыт холостого хода высоковольтного трансформатора провести при пониженном напряжении, безопасном для жизни оператора?	Можно
	Можно, если подобрать соответствующие приборы
	Нельзя
Каким образом в опыте холостого хода устанавливают нужное напряжение на первичной обмотке трансформатора?	За счет изменения числа витков первичной обмотки трансформатора
	За счет изменения числа витков вторичной обмотки трансформатора
	При помощи специального автотрансформатора
	За счет выбора соответствующей схемы соединения обмоток
Какие приборы необходимы для опыта короткого замыкания однофазного трансформатора?	Амперметр, вольтметр, ваттметр
	Два амперметра, вольтметр, ваттметр
	Два амперметра, вольтметр, два ваттметра
	Амперметр и вольтметр

КАРТОЧКА № 14

Лабораторная работа. Исследование трансформаторов

При выключении из сети схемы для производства опыта холостого хода трансформатора	амперметры предварительно замыкаются накоротко
	ваттметры предварительно замыкаются накоротко
	амперметры и ваттметры предварительно замыкаются накоротко
	вольтметр предварительно отключается
Определите потери в меди трехфазного трансформатора при номинальной нагрузке, если в опыте короткого замыкания ваттметры показали:	46,5 Вт
	17 Вт
	33,5 Вт
	Потери в меди определить невозможно, так как неизвестны потери в стали

$$P_1 = 16,5 \text{ Вт}; P_2 = 17 \text{ Вт}$$

На основании данных опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора подсчитаны параметры схемы замещения: $z_k = 0,2 \text{ Ом}$; $r_k = 0,1 \text{ Ом}$. Определите x_k	$0,1 \sqrt{3} \text{ Ом}$
	$\sqrt{3} \text{ Ом}$
	$0,3 \text{ Ом}$
	$0,1 \text{ Ом}$
Какие приборы необходимы для опыта холостого хода однофазного трансформатора?	Два амперметра и вольтметр
	Два амперметра, вольтметр, ваттметр
	Амперметр, вольтметр, ваттметр
	Амперметр, вольтметр и два ваттметра
Чему равно активное сопротивление обмотки, если постоянный ток 5А вызывает падение напряжения 100 В?	5 Ом
	20 Ом
	500 Ом
	Для ответа на вопрос недостаточно данных

КАРТОЧКА № 15

Лабораторная работа. Исследование трансформаторов

Из опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора найдено, что $U_k = 7,6 \text{ В}$, а $I_k = 22 \text{ А}$. Определите параметр z_k схемы замещения	$0,1 \text{ Ом}$
	$0,2 \text{ Ом}$
	$0,5 \text{ Ом}$
	2 Ом
Какие приборы необходимы для опыта холостого хода трехфазного трансформатора?	Три амперметра, три ваттметра, три вольтметра
	Три амперметра, три ваттметра, вольтметр
	Три амперметра, два ваттметра, вольтметр
	Два амперметра, два ваттметра, вольтметр
Из опыта холостого хода однофазного трансформатора найдены $U_0 = 220 \text{ В}$; $I_0 = 0,4 \text{ А}$; $P_0 = 17,6 \text{ Вт}$. Определите коэффициент мощности трансформатора	0,5
	0,6
	0,7
	0,8

В опыте холостого хода и в опыте короткого замыкания показания ваттметров таковы: $P_{01} = 15 \text{ Вт}; P_{02} = 15,5 \text{ Вт};$ $P_{K1} = 16,5 \text{ Вт}; P_{K2} = 17 \text{ Вт}.$ Вычислите потери в трансформаторе при номинальной нагрузке	30,5 Вт
	33,5 Вт
	64 Вт
	Для решения задачи недостаточно данных
Известны $I_{\text{н}} = 20 \text{ А}; r_{\text{н}} = 0,3 \text{ Ом}.$ $U_{\text{н}} = 100 \text{ В}.$ Определите изменение напряжения в процентах	3%
	6%
	20%
	40%

КАРТОЧКА № 16

Лабораторная работа. Параллельная работа трехфазных трансформаторов

Что нужно иметь для фазировки трансформаторов с изолированной нейтралью?	Переключку и вольтметр
	Вольтметр
	Переключку, вольтметр и амперметр
Какие технические средства нужно иметь для фазировки трансформаторов, нейтральные точки которых соединены нулевым проводом?	Переключку и вольтметр
	Вольтметр
	Переключку, вольтметр и амперметр
Можно ли сфазировать трансформаторы а) с одинаковыми группами включения обмоток; б) с разными группами включения обмоток?	Можно
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно
Напряжение между зажимами $a - a_1$ и $c - c_1$ равно нулю; между зажимами $b - c_1$ и $c - b_1$ — линейному значению. Сфазированы трансформаторы или нет?	Нельзя
	Сфазированы
	Нет
Как распределяется нагрузка между трансформаторами, если все условия параллельной работы выполнены?	Поровну
	Пропорционально мощности трансформаторов

Лабораторная работа. Изучение устройства специальных типов трансформаторов и исследование автотрансформаторов

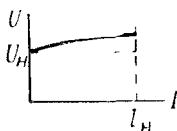
Выходные клеммы автотрансформатора присоединены к одному из концов и к середине обмотки. Определите коэффициент трансформации	$k = 0,5$
	$k = 1$
	$k = 2$
	Для решения задачи недостаточно данных
Можно ли автотрансформатор использовать: а) для повышения; б) для понижения напряжения?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно
Каким образом регулируют э. д. с. вольтодобавочного трансформатора?	При помощи специального автотрансформатора
	За счет изменения числа витков первичной обмотки
	За счет изменения числа витков вторичной обмотки
	За счет изменения схемы соединения обмоток
Как изменится ток сварочного трансформатора СТЭ, если воздушный зазор в магнитопроводе дросселя уменьшить?	Увеличится
	Уменьшится
	Не изменится
	Воздушный зазор в магнитопроводе дросселя не регулируется
Какие выпрямители используются в сварочных преобразователях: а) ВД-101; б) ВД-301?	Кремниевые
	Германиевые
	а) кремниевые; б) германиевые
	а) германиевые; б) кремниевые

Лабораторная работа. Исследование синхронного генератора

При каких условиях снимают характеристику холостого хода синхронного генератора?	$U = 0; \omega = \text{const}$
	$I = 0, \omega = \text{const}$
	$I = \text{const}; \cos \varphi = \text{const}$
	$\cos \varphi = \text{const}; \omega = \text{const}$
Чем отличается нормальная характеристика холостого хода от обычной характеристики холостого хода?	Значениями тока возбуждения
	Значениями частоты и $\cos \varphi$
	Единицами измерения величин
	Схемами снятия характеристик
Цепь нагрузки имеет активно-индуктивный характер. Для увеличения тока нагрузки уменьшили активное сопротивление. Что надо сделать, чтобы $\cos \varphi$ при этом не изменился?	Увеличить индуктивность цепи
	Уменьшить индуктивность цепи
	Последовательно с нагрузкой включить емкость
	Увеличить частоту
В одной фазе синхронного генератора измерены активная мощность 80 Вт, напряжение 200 В и ток 0,5 А. Определите $\cos \varphi$	0,6
	0,7
	0,8
	0,9
Какие приборы необходимы для измерения коэффициента мощности синхронного генератора?	Два ваттметра
	Ваттметр, вольтметр, амперметр
	Два вольтметра и два амперметра
	Вольтметр и амперметр

Лабораторная работа. Исследование синхронного генератора

Каким образом снималась эта внешняя характеристика синхронного генератора?



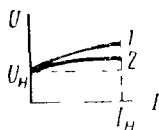
На повышение напряжения

На понижение напряжения

Однозначного ответа дать нельзя, так как неизвестен характер нагрузки

Две внешние характеристики синхронного генератора сняты при различных $\cos \varphi$.

В каком случае абсолютное значение $\cos \varphi$ больше?



В случае 1

В случае 2

Однозначного ответа дать нельзя, так как неизвестен характер нагрузки

При каком токе якоря устанавливают номинальное напряжение синхронного генератора при снятии внешней характеристики на понижение напряжения?

При номинальном токе

При токе, равном нулю

Это зависит от характера нагрузки

Номинальное напряжение устанавливают независимо от величины тока

При каком токе якоря устанавливают номинальное напряжение синхронного генератора при снятии внешней характеристики на повышение напряжения?

При номинальном токе

При токе, равном нулю

Это зависит от характера нагрузки

Номинальное напряжение устанавливают независимо от величины тока

Между какими величинами определяется зависимость при снятии внешней характеристики синхронного генератора?

Между током возбуждения и током якоря

Между напряжением на зажимах генератора и током якоря

Между э. д. с. генератора и током возбуждения

Между напряжением на зажимах генератора и током возбуждения

Лабораторная работа. Исследование синхронного генератора

Между какими величинами определяется зависимость при снятии характеристики холостого хода?	Между напряжением на зажимах генератора и током якоря
	Между током возбуждения и током якоря
	Между э. д. с. генератора и током возбуждения
	Между напряжением на зажимах генератора и его э. д. с.
Между какими величинами определяется зависимость при снятии характеристики короткого замыкания?	Между напряжением на зажимах генератора и током якоря
	Между током якоря и током возбуждения
	Между э. д. с. генератора и током возбуждения
	Между напряжением на зажимах генератора и током возбуждения
Между какими величинами определяется зависимость при снятии регулировочной характеристики синхронного генератора?	Между напряжением на зажимах генератора и током якоря
	Между током возбуждения и током якоря
	Между напряжением на зажимах генератора и током возбуждения
	Между напряжением на зажимах генератора и его э. д. с.
Какие приборы нужны для снятия характеристики короткого замыкания?	Амперметр, вольтметр, частотомер
	Два амперметра и частотомер
	Амперметр, вольтметр, ваттметр
	Два вольтметра и частотомер
Какие характеристики используются при определении отношения короткого замыкания синхронного генератора?	Внешняя и холостого хода
	Холостого хода и короткого замыкания
	Регулировочная
	Регулировочная и внешняя

Лабораторная работа. Включение синхронных генераторов на параллельную работу

На какое напряжение должны быть рассчитаны лампы синхроскопа?	Фазное
	Линейное
	Двойное фазное
	Двойное линейное
Как при помощи нулевого вольтметра определить момент включения генератора на параллельную работу?	Стрелка медленно идет от нуля
	Стрелка медленно идет к нулю
	Стрелка быстро идет к нулю
	Стрелка быстро идет от нуля
В лампах синхроскопа, включенных «на погасание», наблюдается вращение света против часовой стрелки. Как надо изменить скорость генератора, чтобы все три лампы одновременно погасли?	Увеличить
	Уменьшить
	Изменением скорости генератора нельзя добиться одновременного погасания ламп
	Скорость генератора, включаемого в сеть, надо уменьшить до нуля
Лампы синхроскопа, включенные «на вращение света», одновременно гаснут и загораются. Что нужно сделать, чтобы появилось «вращение света»?	Изменить порядок следования фаз
	Изменить направление вращения генератора
	Уменьшить скорость генератора
	Увеличить скорость генератора
Укажите порядок выключения синхронного генератора из сети	Остановить первичный двигатель, снять возбуждение, отключить генератор от сети
	Отключить генератор от сети, снять возбуждение, остановить первичный двигатель
	Снять возбуждение, остановить первичный двигатель, отключить генератор от сети
	Снять возбуждение, отключить генератор от сети, остановить первичный двигатель

Лабораторная работа Включение синхронных генераторов на параллельную работу

Что нужно сделать с амперметром и токовой обмоткой ваттметра при включении синхронного генератора на параллельную работу методом самосинхронизации?	Закоротить
	Выключить из сети
	Закоротить на период подключения генератора к сети
	Амперметр выключить из сети, а токовую обмотку ваттметра закоротить
Каким образом устанавливается равенство скоростей генераторов при включении их на параллельную работу методом самосинхронизации?	По лампам, включенным «на вращение света»
	По лампам, включенным «на погасание»
	При помощи стробоскопического диска и неоновой лампы
	При помощи частотомера
Укажите порядок включения синхронного генератора в сеть методом самосинхронизации	Запустить первичный двигатель, подключить генератор к сети, включить возбуждение
	Подключить генератор к сети, запустить первичный двигатель, включить возбуждение
	Включить возбуждение, подключить генератор к сети, включить первичный двигатель
	Запустить первичный двигатель, включить возбуждение, подключить генератор к сети
Ток возбуждения синхронного генератора, включенного в сеть, увеличен. Как изменились а) активная; б) реактивная мощности генератора?	а) увеличилась; б) увеличилась
	а) увеличилась; б) не изменилась
	а) не изменилась; б) увеличилась
	а) увеличилась; б) уменьшилась
Что надо сделать, чтобы увеличить активную мощность, отдаваемую генератором в сеть?	Увеличить ток возбуждения
	Увеличить вращающий момент первичного двигателя
	Увеличить э. д. с. генератора
	Увеличить коэффициент мощности нагрузки

Лабораторная работа. Исследование асинхронных генераторов

При работе асинхронной машины в режиме двигателя ротор вращается по часовой стрелке. В какую сторону приводной двигатель должен вращать ротор, чтобы машина работала в качестве генератора?	По часовой стрелке
	Против часовой стрелки
Укажите порядок подключения асинхронного генератора к сети	Совместить направление вращения поля статора и приводного двигателя, раскрутить ротор, подключить генератор к сети
	Раскрутить ротор, подключить генератор к сети, совместить направление вращения поля статора и приводного двигателя
	Подключить генератор к сети, раскрутить ротор, совместить направление вращения поля статора и приводного двигателя
Какую мощность потребляет асинхронная машина из сети, когда ее ротор вращается со скоростью вращения магнитного поля статора?	Реактивную мощность
	Максимальную активную мощность
	Мощность, равную нулю
	Мощность, близкую к нулю
Абсолютная величина скольжения асинхронного генератора, работающего на сеть, увеличилась от 0,01 до 0,02. Как изменилась активная мощность, отдаваемая генератором в сеть?	Увеличилась
	Не изменилась
	Уменьшилась
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Скорость магнитного поля статора асинхронной машины 3000 об/мин, а скорость ротора 3150 об/мин. Определите скольжение	5%
	—5%
	—95%

Лабораторная работа. Исследование асинхронных генераторов

Ваттметр, включенный в одну фазу асинхронного генератора, показывает 250 Вт. Механическая мощность на валу генератора 1000 Вт. Определите к. п. д. генератора	25%
	50%
	75%
	90%
Двигатель постоянного тока с постоянным возбуждением включен в сеть 100 В, ток якоря 9,5 А, ток возбуждения 0,5 А, к. п. д. двигателя 0,8. Вычислите мощность на валу двигателя	800 Вт
	900 Вт
	1000 Вт
	1100 Вт
Асинхронный генератор с самовозбуждением от конденсаторов. Можно ли соединить конденсаторы: а) треугольником; б) звездой? (Рабочее напряжение конденсаторов превышает линейное напряжение генератора)	а) нельзя; б) можно
	а) можно; б) нельзя
	Можно
	Нельзя
Емкость конденсаторов для самовозбуждения асинхронного генератора определяется формулой $C = \frac{kI_H}{2\pi f U_\phi}$ В каком из перечисленных случаев емкость конденсаторов больше?	При соединении треугольником
	При соединении звездой
	В обоих случаях одинакова
В каком случае асинхронный генератор с самовозбуждением от конденсаторов не возбуждётся?	При наличии активной нагрузки
	При отсутствии остаточного магнетизма
	При соединении конденсаторов звездой
	При соединении конденсаторов треугольником

Лабораторная работа Исследование асинхронных двигателей

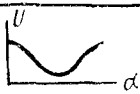
Асинхронный двигатель 220/127 В. Как должны быть соединены обмотки двигателя, если он включается в сеть с линейным напряжением а) 127 В; б) 220 В?	Звездой
	Треугольником
Номинальный ток асинхронного двигателя 10 А. На какой максимальный ток должен быть рассчитан амперметр в цепи пускового тока этого двигателя при прямом пуске?	а) звездой; б) треугольником
	а) треугольником; б) звездой
	15 А
	25 А
Как изменяется линейный ток, потребляемый асинхронным двигателем из сети, при переключении обмоток статора с треугольника на звезду?	35 А
	70 А
	Уменьшается в 3 раза
	Увеличивается в 3 раза
Какой из асинхронных двигателей (с короткозамкнутым ротором или с фазным ротором и пусковым реостатом) потребляет из сети больший ток при пуске?	Уменьшается в $\sqrt{3}$ раз
	Увеличивается в $\sqrt{3}$ раз
	Двигатель с короткозамкнутым ротором
	Двигатель с фазным ротором
Что произойдет, если после запуска двигателя не вывести пусковой реостат?	Токи двигателей при пуске одинаковы
	Вращающий момент уменьшится
	Двигатель остановится
	Обмотка ротора сгорит
	Пусковой реостат сгорит

Лабораторная работа Исследование асинхронных двигателей

В опыте холостого хода асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора	цепь обмотки ротора размыкают
	ротор вращается со скоростью, близкой к синхронной
	ротор заторможен
	к двигателю подводят пониженное напряжение

В опыте холостого хода асинхронного двигателя с фазной обмоткой ротора	цепь обмотки ротора замыкают накоротко
	цепь обмотки ротора размыкают
	ротор заторможен
	к двигателю подводят пониженное напряжение
В опыте короткого замыкания асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора	цепь обмотки ротора размыкают
	ротор заторможен
	ротор вращается со скоростью, близкой к синхронной
	ток в обмотке статора составляет несколько процентов от номинального тока
В опыте короткого замыкания асинхронного двигателя с фазной обмоткой ротора	цепь обмотки ротора замыкают накоротко, ротор заторможен
	цепь обмотки ротора размыкают, ротор заторможен
	цепь обмотки ротора размыкают, ротор вращается со скоростью, близкой к синхронной
	ток в обмотке статора составляет несколько процентов от номинального тока
Какие измерительные приборы необходимы для постановки опытов холостого хода и короткого замыкания?	Амперметр, вольтметр, ваттметр
	Два амперметра и вольтметр
	Амперметр и два вольтметра
	Два амперметра и два вольтметра

Лабораторная работа. Исследование индукционного регулятора

Какой вид имеет зависимость напряжения на выходе трехфазного индукционного регулятора от угла поворота ротора?	
	
	
Какие приборы используются для получения данных, необходимых для построения характеристики и векторной диаграммы индукционного регулятора?	Вольтметр и амперметр
	Два вольтметра и амперметр
	Три вольтметра Вольтметр и два амперметра
Как изменяется величина добавочного напряжения, индуцируемого в роторе трехфазного индукционного регулятора, при увеличении угла поворота ротора?	Не меняется
	Увеличивается
	Уменьшается Сначала уменьшается, потом увеличивается
Как изменяется фаза напряжения, индуцируемого в роторе индукционного регулятора вращающимся магнитным полем, при повороте ротора на 180° ?	Не меняется
	Изменяется на 90°
	Изменяется на 180° Изменяется на 360°
Будет ли меняться фаза напряжения на выходе трехфазного индукционного регулятора при повороте ротора?	Будет
	Не будет
	Это зависит от того, какой из обмоток (ротора или статора) используется в качестве проходной
	Для ответа на вопрос недостаточно данных

Лабораторная работа. Изучение устройства и работы однофазных двигателей

Чему равен пусковой момент однофазного асинхронного двигателя, не имеющего пусковой обмотки?	Опрокидывающему моменту
	Половине максимального момента
	Нулю
	Половине опрокидывающего момента
Какое поле образуется в однофазном асинхронном двигателе, снабженном пусковой обмоткой, в период пуска, когда пусковая обмотка включена?	Пульсирующее
	Вращающееся
	Постоянное
	Бегущее
Какое поле образуется в однофазном асинхронном двигателе в рабочем режиме, когда пусковая обмотка отключена?	Пульсирующее
	Вращающееся
	Постоянное
	Бегущее
Можно ли трехфазный асинхронный двигатель использовать в качестве однофазного?	Можно
	Нельзя
	Можно, если перемотать обмотку статора
	Можно, если перемотать обмотку ротора
Какое поле образуется в однофазном асинхронном двигателе с расщепленными полюсами?	Пульсирующее
	Вращающееся
	Постоянное
	Бегущее

КАРТОЧКА № 29

Лабораторная работа. Изучение устройства и работы однофазных двигателей

Чему равен пусковой момент однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами?	Опрокидывающему моменту
	Некоторому значению, меньшему опрокидывающего момента
	Нулю
Как изменить направление вращения однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами?	Изменить на обратную фазу приложенного напряжения
	Переставить экранирующие кольца
	Использовать любой из двух, названных выше способов
Как отключается пусковая обмотка у двигателей типа а) АОЛБ; б) ДО-50?	Ручным выключателем
	Центробежным устройством
	а) ручным выключателем; б) центробежным устройством
	а) центробежным устройством б) ручным выключателем
Какой недостаток не свойствен однофазным асинхронным двигателям?	Низкий к. п. д.
	Низкий коэффициент мощности
	Большой пусковой ток
	Сложность реверсирования
Чем принципиально отличается магнитная система возбуждения однофазного коллекторного двигателя от магнитной системы двигателя постоянного тока?	Материалом
	Назначением
	Размерами и массой
	Шихтовой

КАРТОЧКА № 30

Лабораторная работа. Изучение устройства и работы однофазных двигателей

Как изменяется коэффициент мощности однофазного коллекторного двигателя при увеличении частоты питающего напряжения?	Не изменяется
	Увеличивается
	Уменьшается

Что надо сделать, чтобы изменить направление вращения универсального коллекторного двигателя?	Поменять местами провода, идущие к якорю
	Поменять полярность напряжения на зажимах двигателя
	Изменить на 180° фазу напряжения на зажимах двигателя
	Применить любой из названных выше способов
Для регулирования скорости параллельно обмотке возбуждения коллекторного двигателя подключен реостат. Как изменяется скорость при уменьшении сопротивления реостата?	Увеличивается
	Уменьшается
	Почти не изменяется
Что произойдет, если снять механическую нагрузку с вала работающего коллекторного двигателя?	Двигатель остановится
	Перегреется обмотка возбуждения
	Перегреется обмотка якоря
	Двигатель пойдет «вразнос»
Какой недостаток не свойствен однофазным коллекторным двигателям?	Большой пусковой ток
	Тяжелые условия коммутации
	Малый коэффициент полезного действия
	Малый пусковой момент

КАРТОЧКА № 31

Лабораторная работа. Изучение устройств и исследование вращающихся преобразователей

Можно ли использовать одноякорный преобразователь для получения а) трехфазного тока; б) однофазного тока?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно
Какое устройство не применяется для регулирования напряжения на выходе одноякорного преобразователя?	Автотрансформатор
	Реактивная катушка
	Реостат в цепи возбуждения
	Применяются все перечисленные выше устройства

Какой ток протекает по серийным обмоткам стабилизирующего трансформатора преобразователя частоты ПСЧ-5?	Ток нагрузки синхронного генератора частотой около 200 Гц
	Ток, потребляемый агрегатом из сети, частотой 50 Гц
	Постоянный ток
Укажите значение частоты напряжения на выходе асинхронного преобразователя частоты типа П-75	25 Гц
	50 Гц
	200 Гц
	400 Гц
Каково номинальное значение напряжения на выходе синхронного активного преобразователя частоты типа С-572	380 В
	220 В
	127 В
	36 В

КАРТОЧКА № 32

Лабораторная работа. Изучение устройства и исследование вращающихся преобразователей

Определите к. п. д. двигатель-генераторного агрегата, если к. п. д. двигателя 0,7, к. п. д. генератора 0,8	0,7
	0,8
	0,56
	0,64
Напряжение на входе двоякорного преобразователя постоянно. Скорость вращения якоря уменьшилась. Как изменилось напряжение на выходе?	Увеличилось
	Не изменилось
	Уменьшилось
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Какой ток протекает по включенной в сеть напряжением 380 В первичной обмотке стабилизирующего трансформатора в преобразователе частоты ПСЧ 5?	Переменный с частотой 50 Гц
	Переменный с частотой 200 Гц
	Постоянный

Укажите номинальное напряжение на выходе асинхронного преобразователя типа И-75	380 В
	220 В
	127 В
	36 В
Укажите номинальное значение частоты напряжения на выходе синхронно-реактивного преобразователя частоты типа С 572	25 Гц
	50 Гц
	200 Гц
	400 Гц

ОБРАЗЦЫ КАРТОЧЕК ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ ПО ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ

КАРТОЧКА № 1

Машины постоянного тока

Какие щетки не находят применения в машинах постоянного тока?	Медные
	Угольно-графитовые
	Металло-угольные
	Все перечисленные щетки применяются в машинах постоянного тока
Как изменяется напряжение на зажимах генератора постоянного тока с параллельным возбуждением при уменьшении нагрузки от номинальной до нуля?	Уменьшается
	Не изменяется
	Увеличивается
	Уменьшается до нуля
Номинальное напряжение генератора постоянного тока 230 В. Номинальная мощность 115 кВт. Определите номинальный ток	1150 А
	1000 А
	500 А
	250 А
Какой из названных факторов не влияет на величину момента холостого хода двигателя постоянного тока?	Трение в подшипниках
	К. п. д. вентилятора
	Потери на вихревые токи
	Тепловые потери в обмотке якоря
Скорость двигателя увеличилась в 3 раза. Как изменились потери на вихревые токи в стали якоря?	Увеличились в 3 раза
	Увеличились в 9 раз
	Не изменились
	Немного уменьшились

КАРТОЧКА № 2

Машины постоянного тока

С какой целью в электротехническую сталь, применяемую для изготовления электрических машин, добавляют кремний?	Для уменьшения удельной электропроводности
	Для увеличения удельной электропроводности
	Для уменьшения магнитного сопротивления стали
	Для уменьшения потерь на перематывание стали
При прочих равных условиях скорость генератора постоянного тока увеличилась в 4 раза. Как изменилась э. д. с. машины?	Не изменилась
	Увеличилась в 2 раза
	Увеличилась в 4 раза
	Увеличилась в 16 раз
Мощность генератора 10 кВт. Укажите примерное значение мощности возбуждения	10 кВт
	5 кВт
	2 кВт
	200 Вт
По обмотке якоря двигателя постоянного тока протекает ток 10 А. Против э. д. с. двигателя 100 В. Сопротивление цепи якоря 0,1 Ом. Определите напряжение на зажимах двигателя	99 В
	100 В
	101 В
	110 В
На щитке генератора постоянного тока указана мощность 0,4 кВт. Суммарные потери при номинальной нагрузке составили 0,1 кВт. Найдите к. п. д. генератора	0,8
	0,75
	0,67
	0,6

КАРТОЧКА № 3

Машины постоянного тока

Чем создается основной магнитный поток машины постоянного тока?	Обмоткой якоря
	Обмоткой возбуждения
	Обмотками якоря и возбуждения
	Обмотками возбуждения и дополнительных полюсов
Сложная обмотка состоит из двух простых. Чему равен коэффициент кратности обмотки якоря машины постоянного тока?	$m = 1$
	$m = 2$
	$m = 4$
	Ответить нельзя, так как неизвестно, какая это обмотка: волновая или петлевая
Какой способ улучшения коммутации применяется в особо мощных машинах постоянного тока, работающих с переменной нагрузкой?	Установка дополнительных полюсов
	Сдвиг щеток на физическую нейтраль
	Использование щеток с большим удельным сопротивлением
	Применение компенсационной обмотки
Назовите правило для определения направления силы, действующей на проводники обмотки якоря двигателя постоянного тока?	Правило правой руки
	Правило левой руки
	Правило буравчика
	Правило знаков
Пусковой ток двигателя последовательного возбуждения в 2 раза превышает номинальный ток. Во сколько раз пусковой момент больше номинального?	В 2 раза
	В 4 раза
	В 9 раз
	Пусковой момент равен номинальному

КАРТОЧКА № 4
Машины постоянного тока

Какая из указанных справа состав- ных частей электрической машины характерна только для машины по- стоянного тока?	Щеткодержатели со щетками
	Подшипниковые щиты с подшипниками
	Якорь с коллектором
	Сердечники полюсов из литой стали
Сколько параллельных ветвей должна иметь простая волновая об- мотка в восьмиполюсной машине?	8
	6
	4
	2
Где устанавливаются щетки а) при отсутствии в машине постоянного тока дополнительных полюсов; б) при наличии дополнительных полюсов?	На геометрической нейтрали
	За физической нейтралью
	а) на геометриче- б) за физической ской нейтраль; нейтралью
	а) за физической б) на геометрической нейтралью; нейтраль
Каким законом определяется прин- цип работы электродвигателя по- стоянного тока?	Законом Ома
	Законами Кирхгофа
	Законом Ампера
	Законом электромагнитной индукции
Как надо включить обмотки воз- буждения компаундного двигателя, чтобы а) устроить режим «разноса» при сбросе нагрузки; б) обеспечить постоянство скорости вращения при изменении нагрузки?	Согласно
	Встречно
	а) согласно; б) встречно
	а) встречно; б) согласно

КАРТОЧКА № 5
Машины постоянного тока

Каким из предлагаемых способов нельзя увеличить напряжение на зажимах унполярного генератора?	Увеличить скорость вращения диска
	Увеличить диаметр диска
	Увеличить удельную электрическую проводимость диска (изготовить диск из другого материала)
	Увеличить индукцию магнитного поля машины
Сколько параллельных ветвей должна иметь простая волновая обмотка в четырехполюсной машине?	2
	4
	6
	8
Какой способ улучшения коммутации целесообразно использовать в мощных машинах постоянного тока при изменяющейся нагрузке?	Установку щеток на геометрической нейтральной
	Установку щеток на физической нейтральной
	Установку дополнительных полюсов
	Сдвиг щеток с физической нейтральной
Как надо включить обмотки возбуждения компаундного генератора, чтобы уменьшить влияние тока нагрузки на напряжение генератора?	Параллельно
	Последовательно
	Согласно
	Встречно
Что произойдет, если момент нагрузки на валу двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением уменьшить до нуля?	Перегреется обмотка якоря
	Перегреется обмотка возбуждения
	Двигатель остановится
	Двигатель пойдет «вразнос»

Машины постоянного тока

При прочих равных условиях первый генератор имеет в 2 раза больше коллекторных пластин, чем второй. У какого генератора больше пульсации напряжения на щетках?	У первого
	У второго
	Пульсации одинаковы
	Для определенного ответа недостаточно данных
Сколько нейтральных линий у машины постоянного тока, если число полюсов $2p = 6$?	Ни одной
	1
	3
	6
При уменьшении нагрузки генератора постоянного тока искрение под щетками увеличилось. Каким образом можно уменьшить искрение?	Повернуть щетки против направления вращения якоря
	Повернуть щетки по направлению вращения якоря
	Уменьшить скорость вращения якоря
	Увеличить скорость вращения якоря
Э. д. с. генератора $E = 240$ В. Сопротивление обмотки якоря $0,4$ Ом. Определите напряжение на зажимах генератора при токе нагрузки 100 А.	250 В
	240 В
	230 В
	220 В
При скорости 9550 об/мин двигатель постоянного тока развивает мощность 2 кВт. Определите статический момент сопротивления на валу двигателя	2 Н·м
	9,55 Н·м
	19,1 Н·м
	1 Н·м

КАРТОЧКА № 7
Машины постоянного тока

Принцип действия электродвигателя основан на	закоме Кулона
	закоме электромагнитной индукции
	закоме Ампера
	законах Кирхгофа
Магнитная индукция в воздушном зазоре, число витков обмотки якоря и скорость вращения машин одинаковы. При этих условиях э. д. с. якоря барабанного типа	в 4 раза меньше э. д. с. кольцевого якоря
	в 2 раза меньше э. д. с. кольцевого якоря
	равна э. д. с. кольцевого якоря
	в 2 раза больше э. д. с. кольцевого якоря
Реакцией якоря называется	уменьшение магнитного поля машины при увеличении нагрузки
	увеличение искрения под щетками
	воздействие магнитного поля якоря на основное магнитное поле полюсов
	Пригодно любое из приведенных выше определений
При холостом ходе генератора установлено номинальное напряжение на его зажимах 115 В, при номинальном токе напряжение на зажимах 103,5 В. Определите процентное изменение напряжения	5%
	10%
	15%
	20%
Двигатель постоянного тока, питающийся от сети с напряжением 100 В, потребляет ток 10 А. Активное сопротивление цепи якоря 0,1 Ом. Какова против э. д. с. двигателя?	101 В
	100 В
	99 В
	90 В

Машины постоянного тока

Магнитный поток, пронизывающий витки катушки, изменяется со скоростью 20 Вб/с. Какая э. д. с. индуцируется в каждом витке?	Задача неопределенна, так как неизвестен магнитный поток, пронизывающий контур
	Задача неопределенна, так как неизвестна площадь, ограниченная витком
	20 В
	0
В каком случае машина постоянного тока не применяется?	В качестве возбудителя синхронных генераторов
	В системах электроснабжения автомобилей
	В качестве двигателя на электрифицированном транспорте
	В качестве источника питания сварочных трансформаторов
Укажите формулу э. д. с. генератора	$E = Blv$
	$E = \frac{pN}{60a} \omega \Phi$
	$e = -w \frac{d\Phi}{dt}$
Скорость вращения генератора с независимым возбуждением уменьшилась в 3 раза. Как изменилась э. д. с. генератора?	Не изменилась
	Увеличилась в 3 раза
	Уменьшилась в 3 раза
	Уменьшилась в 9 раз
Ток якоря двигателя увеличился в 2 раза. Магнитный поток возбуждения уменьшился в 2 раза. Как изменился вращающий момент?	Не изменился
	Увеличился в 2 раза
	Уменьшился в 2 раза
	Увеличился в 4 раза

КАРТОЧКА № 1

Трансформаторы

При каком напряжении целесообразно а) передавать; б) потреблять электрическую энергию?	При высоком
	При низком
	а) при высоком; б) при низком
	а) при низком; б) при высоком
Э. д. с. первичной обмотки трансформатора 50 В. Определите приведенное значение э. д. с. вторичной обмотки	25 В
	50 В
	100 В
	Задача неопределенна, так как неизвестен коэффициент трансформации
При номинальном режиме работы трансформатора потери в меди составляют 2000 Вт. Чему равны потери в меди при половинной нагрузке?	2000 Вт
	1000 Вт
	500 Вт
	250 Вт
Расчетное напряжение обмотки трансформатора 6,3 кВ. Какая это обмотка?	Низкого напряжения
	Высокого напряжения
	Это нестандартная обмотка
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Мощности параллельно работающих трансформаторов одинаковы. Э. д. с. вторичной обмотки первого трансформатора больше, чем э. д. с. вторичной обмотки второго трансформатора. Где протекает меньший ток?	Во вторичной обмотке первого трансформатора
	Во вторичной обмотке второго трансформатора
	В обмотках первого трансформатора
	В обмотках второго трансформатора

Трансформаторы

Принцип действия трансформатора основан на	законе Кулона
	законе Ампера
	принципе Ленца
	законе электромагнитной индукции
Полное сопротивление вторичной обмотки трансформатора 10 Ом. Коэффициент трансформатора 0,5. Определите приведенное значение полного сопротивления вторичной обмотки	20 Ом
	10 Ом
	5 Ом
	2,5 Ом
Каким образом заземляют магнитопровод трансформатора?	Сердечник трансформатора соединяют металлической лентой с землей
	Сердечник трансформатора соединяют металлической лентой с баком
	Сердечник и ярмо трансформатора соединяют металлическими лентами с баком
	Сердечник и ярмо трансформатора соединяют металлическими лентами с землей
Где устанавливают ответвления для регулировки выходного напряжения трансформатора?	В первичной обмотке
	Во вторичной обмотке
	В обмотке низшего напряжения
	В обмотке высшего напряжения
Выходные клеммы автотрансформатора подсоединены к одному из концов и к середине обмотки. Определите коэффициент трансформации	$k = 0,5$
	$k = 1$
	$k = 2$
	Для решения задачи недостаточно данных

Трансформаторы

Номинальная мощность однофазного трансформатора 20 кВа. Номинальное напряжение вторичной обмотки 500 В. Определите номинальный ток вторичной обмотки	30 А
	40 А
	50 А
	60 А
Какие приборы необходимы для постановки опыта короткого замыкания трансформатора?	Два амперметра, вольтметр, ваттметр
	Амперметр, два вольтметра, ваттметр
	Два амперметра, два вольтметра, ваттметр
	Амперметр, вольтметр, ваттметр
Какие материалы используются для изготовления проводов обмоток силовых трансформаторов?	Серебро, алюминий
	Медь, алюминий
	Сталь, алюминий
	Медь, сталь
Обмотки трансформатора соединены по схеме Δ/Δ. Фазные обмотки на каждом стержне намотаны согласно. Определите группу соединений обмоток	0
	5
	6
	11
Что произойдет, если на параллельную работу включить трансформаторы с разными группами соединения обмоток?	Напряжение на нагрузке уменьшится до нуля
	Возникнут колебания напряжения на нагрузке
	Через обмотки трансформаторов потечет большой уравнительный ток
	Уравнительный ток потечет через сопротивление нагрузки

Трансформаторы

При напряжении на первичной обмотке трансформатора 200 В в ней протекает ток 5 А. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 100 В. Определите приближенное значение тока во вторичной обмотке	20 А
	10 А
	5 А
	2,5 А
При номинальном режиме работы потери в стали сердечника трансформатора составляют 400 Вт. Каковы потери в стали при опыте короткого замыкания, если напряжение короткого замыкания равно 5% номинального напряжения?	1 Вт
	20 Вт
	5 Вт
	400 Вт
Можно ли расширитель трансформатора полностью залить маслом?	Можно
	При пониженной температуре можно
	При всех условиях расширитель должен быть полностью освобожден от масла
	Нельзя
Э. д. с. первичной обмотки трансформатора 100 В, вторичной — 500 В. Определите коэффициент трансформации	Для ответа на вопрос недостаточно данных
	$k = 0,02$
	$k = 0,2$
	$k = 5$
В каком из указанных справа случаев не применяются автотрансформаторы?	В лабораториях для плавного регулирования напряжения
	Для пуска синхронных и асинхронных двигателей
	Для регулирования напряжения бытовых электроприборов
	Для питания измерительных приборов в высоковольтных сетях

Трансформаторы

Укажите одно из важнейших достоинств цепей переменного тока по сравнению с цепями постоянного тока	Возможность передачи энергии на дальние расстояния
	Возможность преобразования электрической энергии в тепловую при помощи простых устройств
	Возможность изменения величины напряжения (и тока) в цепи при помощи трансформаторов
	Возможность включения генераторов переменного тока на параллельную работу
Трансформатор работает на чисто активную нагрузку. Как изменится напряжение на нагрузке с увеличением тока?	Не изменяется
	Уменьшается
	Увеличивается
	Немного увеличивается
Зачем на трансформаторах большой мощности (1000 кВа и более) устанавливается выхлопная труба?	Для поддержания в баке атмосферного давления
	Для повышения интенсивности охлаждения
	Для предохранения бака от разрыва при коротких замыканиях обмоток
	Для слива избытков масла
Какой из приведенных недостатков не свойствен автотрансформатору?	Малый коэффициент трансформации
	Большой ток короткого замыкания
	Электрическая связь первичной и вторичной обмоток
	Невозможность применения в цепях трехфазного тока
При опыте короткого замыкания трехобмоточного трансформатора	одна вторичная обмотка замкнута накоротко, другая — разомкнута
	обе вторичные обмотки замкнуты накоротко
	обе вторичные обмотки разомкнуты
	первичная обмотка замкнута накоротко

Трансформаторы

Ток холостого хода трансформатора	опережает по фазе основной магнитный поток на угол 90°
	опережает по фазе основной магнитный поток на небольшой угол
	отстает по фазе от основного магнитного потока на небольшой угол
	совпадает по фазе с основным магнитным потоком
В каком случае трансформатор нагревается больше?	В опыте холостого хода
	В опыте короткого замыкания
	При номинальной нагрузке
	Во всех перечисленных выше случаях нагрев трансформатора примерно одинаков
Где обычно располагают вводы силовых трансформаторов?	На крышке бака
	На передней стенке бака
	На боковой стенке бака
	На задней стенке бака
Что произойдет, если включить на параллельную работу несфазированные трансформаторы?	На выходных шинах появится удвоенное напряжение
	Через сопротивление нагрузки трансформаторов потечет большой уравнительный ток
	Через обмотки трансформаторов потечет большой ток даже при отключенной нагрузке
	Напряжение на нагрузке уменьшится до нуля
Каким образом можно увеличить ток сварочного трансформатора СТАН-1?	Увеличить воздушный зазор в магнитопроводе дросселя
	Увеличить воздушный зазор между сердечником и средним стержнем
	Уменьшить воздушный зазор между сердечником и средним стержнем

Трансформаторы

Чему пропорциональны потери в меди первичной обмотки трансформатора при холостом ходе?	Приложенному напряжению
	Квадрату приложенного напряжения
	Току холостого хода
	Квадрату тока холостого хода
Как изменится результирующая м. д. с. обмоток трансформатора при увеличении тока во вторичной обмотке?	Увеличится
	Уменьшится
	Не изменится
	Резко увеличится
Нагрузка трансформатора имеет индуктивный характер. Как изменится напряжение на нагрузке при уменьшении тока?	Уменьшается
	Не изменяется
	Увеличивается
	Это зависит от степени насыщения сердечника трансформатора
В опыте холостого хода трехобмоточного трансформатора	одна вторичная обмотка разомкнута
	обе вторичные обмотки разомкнуты
	одна вторичная обмотка разомкнута, другая — замкнута накоротко
	обе вторичные обмотки замкнуты накоротко
В каком режиме работают а) измерительный трансформатор тока; б) измерительный трансформатор напряжения?	В режиме холостого хода
	В режиме короткого замыкания
	а) в режиме короткого замыкания; б) в режиме холостого хода
	а) в режиме холостого хода; б) в режиме короткого замыкания

Трансформаторы

Чему пропорциональны потери в стали трансформатора при холостом ходе?	Току холостого хода
	Квадрату тока холостого хода
	Приложенному напряжению
	Квадрату приложенного напряжения
В режиме холостого хода трансформатор потребляет мощность 6 Вт. Масса стали сердечника трансформатора 3 кг. Определите удельные потери в стали	6 Вт/кг
	2 Вт/кг
	1 Вт/кг
	Для решения задачи недостаточно данных
Трансформатор работает на нагрузку, имеющую емкостной характер. Как изменяется напряжение на нагрузке при уменьшении тока?	Уменьшается
	Не изменяется
	Увеличивается
	Немного увеличивается
Какие выпрямители используются в сварочных преобразователях марки а) ВД-301; б) ВД-101?	Кремниевые
	Германиевые
	а) кремниевые; б) германиевые
	а) германиевые; б) кремниевые
Первичные обмотки измерительных трансформаторов включены в нагруженную высоковольтную сеть. Можно ли разомкнуть вторичные обмотки: а) трансформатора тока; б) трансформатора напряжения?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно

Синхронные машины

Якорем называют	рогог генератора
	ту часть генератора, в которой индукутируется э. д. с.
	неподвижную часть генератора
	ту часть генератора, где создается магнитный поток возбуждения
В шестиполусном трехфазном синхронном генераторе обмотки соседних фаз смещены	на 30 пространственных градусов
	на 40 пространственных градусов
	на 60 пространственных градусов
	на 30 электрических градусов
При увеличении индуктивной нагрузки напряжение на зажимах синхронного генератора	не изменяется
	увеличивается
	уменьшается
	сначала увеличивается, потом уменьшается
Напряжение на зажимах синхронного генератора отличается от э. д. с. холостого хода вследствие	реакции якоря
	падения напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния якоря
	падения напряжения на активном сопротивлении якоря
	одновременного действия всех указанных выше причин
Лампы включены на погасание. Кроме того, между одноименными фазами генераторов включен вольтметр. В какой момент следует включать генераторы на параллельную работу?	Когда лампы горят с полным накалом
	Когда лампы горят в полнакала
	Когда стрелка вольтметра находится на нуле
	Когда лампы гаснут

КАРТОЧКА № 2

Синхронные машины

Двухполюсный ротор синхронного генератора вращается со скоростью 1500 об/мин. Определите частоту тока, вырабатываемого генератором	25 Гц
	50 Гц
	100 Гц
	250 Гц
Почему фазы обмотки трехфазного синхронного генератора предпочитают соединять звездой?	Чтобы увеличить э. д. с. генератора
	Чтобы устранить влияние реакции якоря
	Чтобы устранить влияние третьей гармоники э. д. с.
	Чтобы устранить влияние пятой гармоники э. д. с.
При увеличении емкостной нагрузки напряжение на зажимах синхронного генератора	уменьшается
	не изменяется
	увеличивается
	сначала уменьшается, потом увеличивается
Напряжение на зажимах отличается от э. д. с. нагруженного генератора вследствие	падения напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния якоря
	падения напряжения на активном сопротивлении якоря
	одновременного действия двух указанных выше причин
	реакции якоря
При постоянном напряжении на зажимах генератора ток нагрузки увеличился. Как нужно изменить ток возбуждения, чтобы напряжение генератора осталось прежним?	Уменьшить
	Оставить неизменным
	Увеличить
	Для ответа на вопрос недостаточно данных

КАРТОЧКА № 3

Синхронные машины

Длина окружности статора синхронного генератора равна 1 м. Определите полюсное деление, если $p = 2$	15 см
	25 см
	50 см
	Для решения задачи недостаточно данных
Две катушки, сдвинутые в пространстве на угол 90°, питаются двухфазным током частотой 50 Гц. Какова скорость вращения магнитного поля	314 рад/с
	314 об/с
	100 об/с
	Для решения задачи недостаточно данных
Ток нагрузки синхронного генератора равен 10 А. Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря 0,1 Ом. Определите э. д. с. рассеяния	0,01 В
	0,1 В
	1 В
	Для решения задачи недостаточно данных
При уменьшении тока нагрузки от номинального до нуля напряжение синхронного генератора понизилось с 230 до 207 В. Вычислите процентное изменение напряжения генератора	9%
	10%
	11%
	При уменьшении нагрузки напряжение генератора повысится, а не понижается
Механическая нагрузка на валу синхронного двигателя увеличилась. Как изменилась скорость двигателя?	Значительно уменьшилась
	Немного уменьшилась
	Не изменилась
	Увеличилась

Синхронные машины

Какие роторы применяют в синхронных гидрогенераторах?	Явнополюсные
	Неявнополюсные
	Это зависит от мощности гидрогенератора
	Это зависит от напряжения гидрогенератора
Трехфазный синхронный генератор вырабатывает ток частотой 50 Гц. С какой скоростью вращается магнитное поле якоря относительно полюсов индуктора	50 об/с
	314 рад/с
	Скорость равна нулю
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
При активно-индуктивной нагрузке магнитное поле полюсов ротора синхронного генератора	усиливается
	ослабляется
	усиливается и искажается
	ослабляется и искажается
Э. д. с. нагруженного генератора отличается от э. д. с. холостого хода генератора вследствие	реакции якоря
	падения напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния якоря
	падения напряжения на активном сопротивлении якоря
	одновременного действия всех указанных выше причин
Как надо изменять ток возбуждения синхронного генератора, чтобы при уменьшении емкостной нагрузки напряжение на зажимах генератора не изменялось?	Увеличивать
	Уменьшать
	Это зависит от скорости вращения генератора
	Это зависит от частоты генерируемого тока

Синхронные машины

Якорь трехфазного синхронного четырехполюсного генератора имеет 60 пазов. Определите число пазов, приходящееся на полюс и фазу	5
	10
	15
	20
В неподвижных обмотках якоря трехфазного синхронного генератора образуется вращающееся магнитное поле, скорость которого составляет 1500 об/мин. С какой скоростью вращается ротор генератора?	1500 об/мин
	3000 об/мин
	Задача неопределенна, так как неизвестна частота тока в обмотках якоря
	Задача неопределенна, так как неизвестно число пар полюсов ротора
При активно-емкостной нагрузке магнитное поле полюсов ротора синхронного генератора	ослабляется и искажается
	усиливается и искажается
	ослабляется
	усиливается
В какой угловой фазе находится напряжение на индуктивном сопротивлении рассеяния ротора синхронного генератора по отношению к току якоря?	Отстает на 90°
	Отстает на угол, близкий к 90°
	Опережает на 90°
	Опережает на угол, близкий к 90°
Каково назначение демпфирующей обмотки в синхронном генераторе?	Устранить искрение под щетками
	Скомпенсировать реакцию якоря
	Ограничить колебания напряжения на зажимах генератора после изменения нагрузки
	Ограничить колебания ротора около положения равновесия после изменения нагрузки

Синхронные машины

Угол между пазами в пространственных градусах равен 6°. Ротор генератора имеет 4 полюса. Определите угол между пазами в электрических градусах	4°
	8°
	12°
	16°
Как изменится э. д. с. синхронного генератора с возбуждением от твердых выпрямителей, если в цепь обмотки возбуждения включить добавочное сопротивление?	Увеличится
	Не изменится
	Уменьшится
	Это зависит от способа соединения обмоток синхронного генератора
Как направлен магнитный поток реакции якоря, создаваемый током короткого замыкания синхронного генератора, по отношению к магнитному потоку полюсов машины?	Встречно
	Согласно
	Опережает на 90°
	Отстает на 90°
Действующие значения напряжений двух генераторов не равны между собой. Все другие условия параллельной работы выполнены. Что произойдет, если генераторы включить на параллельную работу?	В двух фазах появится уравнивающий ток
	Появится уравнивающий ток, резко изменяющийся по амплитуде
	Появится уравнивающий ток с большой активной составляющей
	Появится реактивный уравнивающий ток
Ротор синхронного двигателя вращается со скоростью 3000 об/мин. С какой скоростью вращается магнитное поле статора?	Задача неопределенна, так как неизвестно число пар полюсов двигателя
	Задача неопределенна, так как неизвестна частота тока
	3000 об/мин
	1500 об/мин

КАРТОЧКА № 7

Синхронные машины

В паз какого типа укладывают всыннюю обмотку?	В открытый
	В закрытый
	В полузакрытый
	В любой из названных выше пазов
Какая схема возбуждения чаще всего используется в мощных синхронных генераторах?	С машинным возбудителем
	С возбуждением от механического выпрямителя
	С возбуждением от твердых выпрямителей
При постоянном напряжении на зажимах синхронного генератора ток нагрузки увеличился. Как изменился ток возбуждения, если генератор работает на активно-индуктивную нагрузку?	Увеличился
	Не изменился
	Уменьшился
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Что произойдет, если включить на параллельную работу генераторы, у которых не равны частоты, а все другие условия параллельной работы выполнены?	Появится уравнительный ток с большой активной составляющей
	Появится уравнительный ток, резко изменяющийся по амплитуде
	Появится реактивный уравнительный ток
	В двух фазах появится уравнительный ток
Лампы, включенные между одноименными фазами двух синхронных генераторов, загораются и гаснут попеременно. Что нужно сделать, прежде чем включить генераторы на параллельную работу?	Включить лампы между разноименными фазами
	Уравнять скорости вращения генераторов
	Изменить порядок следования фаз подключаемого генератора
	Делать ничего не нужно: все условия параллельной работы выполнены

Синхронные машины

Можно ли трехфазную обмотку синхронного генератора большой мощности расположить на роторе?	Можно
	Нельзя
	Можно, но нецелесообразно
	В генераторах большой мощности обмотка якоря всегда располагается на роторе
Какие роторы применяются в синхронных турбогенераторах?	Неиспользуемые
	Неявнополюсные
	Это зависит от мощности турбогенератора
	Это зависит от напряжения турбогенератора
В каком случае ток в катушке обмотки якоря синхронного генератора максимален, если цепь нагрузки имеет чисто активный характер?	Когда стороны катушки находятся над серединами полюсов
	Когда середина катушки находится над северным полюсом
	Когда середина катушки находится над южным полюсом
	Это зависит от способа соединения катушек обмотки
Магнитный поток реакции якоря при емкостной нагрузке	искажает магнитное поле машины
	увеличивает магнитное поле машины
	уменьшает магнитное поле машины
	уменьшает и искажает магнитное поле машины
Почему ток, потребляемый из сети синхронным двигателем, не равен нулю, когда двигатель работает в режиме холостого хода?	Потому что скорость двигателя ограничена
	Потому что отсутствует противо-э. д. с.
	Потому что в двигателе всегда есть потери энергии
	Потому что магнитная система не насыщена

КАРТОЧКА № 1

Асинхронные машины

Какова скорость пересечения силовыми линиями вращающегося магнитного поля стержней обмотки ротора асинхронного двигателя, работающего в режиме холостого хода?	Максимальна
	Минимальна
	Равна нулю
	Отрицательна
Как изменился ток в роторе асинхронного двигателя, если скольжение увеличилось?	Увеличился
	Не изменился
	Уменьшился
	Это зависит от скорости вращения двигателя
Укажите основной недостаток асинхронного генератора	Непостоянство частоты вырабатываемого напряжения
	Малый коэффициент мощности
	Малый коэффициент полезного действия
	Непостоянство величины вырабатываемого напряжения
Как изменить направление вращения ротора асинхронного двигателя?	Изменить полярность напряжения питания
	Изменить порядок следования фаз
	Применить любой из двух указанных выше способов
	Переключить обмотки со звезды на треугольник или наоборот
Чему равен пусковой момент однофазного двигателя, не имеющего пусковой обмотки?	Максимальному моменту
	Половине максимального момента
	От половины до двух третей пускового момента аналогичного трехфазного двигателя
	Нулю

Асинхронные машины

Как изменится ток в обмотке ротора асинхронного двигателя при уменьшении механической нагрузки на валу?	Увеличится
	Уменьшится
	Не изменится
	Это зависит от направления вращения двигателя
С какой скоростью вращаются векторы векторной диаграммы асинхронного двигателя?	Со скоростью скольжения
	Со скоростью вращения ротора
	Со скоростью вращения магнитного поля статора
	Со скоростью, несколько меньшей скорости вращения магнитного поля статора
Укажите условие, при котором асинхронная машина работает как генератор	Скорость вращения ротора больше, чем скорость вращения поля статора
	Скорость вращения поля ротора больше, чем скорость вращения поля статора
	Скорость вращения поля статора больше, чем скорость ротора
	Магнитное поле статора и ротор вращаются в противоположные стороны
Как практически осуществляют торможение асинхронного двигателя методом противовключения?	Меняют полярность напряжения питания
	Резко снижают величину питающего напряжения
	Меняют местами два любых провода из трех, идущих к обмотке статора
	Переключают обмотки двигателя со звезды на треугольник или наоборот
В магнитном поле, пульсирующем с частотой 50 Гц, вращается ротор асинхронного двигателя со скоростью 2850 об/мин. Определите скольжение а) относительно прямого; б) относительно обратного поля	а) 5%; б) 5%
	а) 5%; б) 195%
	а) 5%; б) 10%
	а) 10%; б) 5%

Асинхронные машины

Как изменится скольжение, если увеличить момент механической нагрузки на валу двигателя?	Уменьшится
	Увеличится
	Не изменится
	Это зависит от направления вращения двигателя
Мощность на валу двигателя 800 Вт; к. п. д. двигателя 0,8. Определите мощность, потребляемую двигателем из сети	500 Вт
	640 Вт
	1000 Вт
	800 Вт
Какой из приведенных недостатков не характерен для асинхронных генераторов с конденсаторным возбуждением?	Сложность регулирования напряжения
	Сложность поддержания постоянства частоты
	Большая стоимость конденсаторов
	Низкий к. п. д.
Как изменяется индуктивное сопротивление пусковой и рабочей клеток по мере увеличения скорости вращения ротора асинхронного двигателя?	Не меняется
	Уменьшается
	Увеличивается
	У рабочей клетки уменьшается, у пусковой — увеличивается
Какой недостаток не свойствен однофазным асинхронным двигателям?	Низкий к. п. д.
	Низкий коэффициент мощности
	Большой пусковой ток
	Сложность реверсирования

КАРТОЧКА № 4

Асинхронные машины

Скорость вращения магнитного поля статора равна 3000 об./мин. Скорость вращения ротора 2940 об./мин. Каково скольжение?	1%
	2%
	3%
	5%
Полезная мощность на валу двигателя 350 Вт. Суммарные потери в двигателе 150 Вт. Определите к. п. д. двигателя	60%
	70%
	80%
	90%
В каком положении находится пусковой реостат асинхронного двигателя с фазным ротором а) в момент пуска; б) при работе двигателя?	а) полностью б) полностью выведен введен;
	а) полностью б) полностью введен выведен
	Полностью введен
	В одном из средних положений
При работе однофазного асинхронного двигателя в режиме индукционного регулятора	ротор неподвижен, а магнитное поле ротора вращается с синхронной скоростью
	ротор и магнитное поле статора вращаются с синхронной скоростью
	ротор неподвижен, магнитное поле пульсирует вдоль оси ротора
	ротор неподвижен, магнитное поле пульсирует вдоль оси статора
Что надо сделать, чтобы исключить появление трансформаторной э. д. с. на щетках однофазного коллекторного двигателя?	Установить щетки на оси полюсов
	Включить компенсационную обмотку
	Установить дополнительные полюса
	Установить щетки на геометрической нейтральной

Асинхронные машины

Может ли скорость вращения ротора асинхронного двигателя превысить скорость вращения магнитного поля статора?	Не может
	Может
	Может, если напряжение, приложенное к двигателю, превышает номинальное
	Может, если ток, потребляемый двигателем, больше номинального
Электромагнитная мощность асинхронного двигателя 500 Вт. Полная механическая мощность 460 Вт. Определите тепловые потери в обмотке ротора	20 Вт
	40 Вт
	80 Вт
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Укажите порядок остановки асинхронного двигателя с фазным ротором, снабженного пусковым реостатом	Отключить двигатель от сети; полностью ввести пусковой реостат; опустить щетки на кольца
	Разомкнуть кольца и опустить щетки; полностью ввести реостат; отключить двигатель от сети
	Полностью ввести пусковой реостат; опустить щетки на кольца; отключить двигатель от сети
	Полностью ввести пусковой реостат; отключить двигатель от сети; опустить щетки на кольца
Как изменяются а) величина; б) начальная фаза напряжения на выходе фазорегулятора в зависимости от угла поворота ротора?	Пропорционально углу поворота ротора
	а) пропорционально углу поворота ротора; б) не изменяется
	а) не изменяется; б) пропорционально углу поворота ротора
	Не изменяются
Что произойдет, если отключить механическую нагрузку на валу однофазного коллекторного двигателя с последовательным возбуждением?	Двигатель остановится
	Скорость вращения двигателя уменьшится
	Ток, потребляемый двигателем из сети, уменьшится до нуля
	Двигатель пойдет «вразнос»

Асинхронные машины

Три катушки обмотки статора асинхронного двигателя питаются трехфазным током промышленной частоты. Скорость вращения ротора 2850 об/мин. Вычислите скольжение	2%
	5%
	10%
	4%
Трехфазный асинхронный двигатель подключен к сети промышленной частоты. Скольжение равно 5%. Определите частоту тока в роторе	50 Гц
	5 Гц
	2,5 Гц
	1 Гц
Активное сопротивление цепи ротора асинхронного двигателя увеличено. Как изменились а) максимальный момент; б) пусковой момент?	а) увеличился; б) уменьшился
	а) увеличился; б) не изменился
	а) не изменился; б) увеличился
	а) не изменился; б) уменьшился
Каким образом осуществляется плавное регулирование в широких пределах скорости вращения асинхронного двигателя с фазной обмоткой ротора?	Изменением числа пар полюсов вращающегося магнитного поля обмотки статора
	Изменением частоты напряжения, приложенного к двигателю
	Изменением сопротивления цепи обмотки ротора
	Плавное регулирование скорости не производится
Можно ли в качестве фазорегулятора использовать а) трехфазный; б) однофазный асинхронные двигатели?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно

Асинхронные машины

Электромеханическая мощность трехфазного асинхронного двигателя 500 Вт. Полная механическая мощность 460 Вт. Определите скольжение, при котором работает двигатель	4%
	8%
	16%
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Как изменяется вращающий момент трехфазного асинхронного двигателя при увеличении скольжения от 0 до 1?	Уменьшается
	Увеличивается
	Сначала уменьшается, потом увеличивается
	Сначала увеличивается, потом уменьшается
С каким скольжением работает асинхронный генератор?	Со скольжением, большим единицы
	Со скольжением, большим двух
	Со скольжением, равным нулю
	Со скольжением, меньшим нуля
Каким образом осуществляется ступенчатое регулирование скорости вращения трехфазного асинхронного двигателя?	Изменением сопротивления цепи обмотки ротора
	Изменением частоты приложенного напряжения
	Переключением секций обмотки статора
	Ступенчатое регулирование скорости не проводится
Однофазные коллекторные двигатели серии УД называют универсальными потому, что	они используются для привода различных приборов (вентиляторов, пылесосов и т. д.)
	они могут питаться как от сети постоянного тока, так и от сети переменного тока
	они могут питаться как от сети однофазного, так и от сети трехфазного тока
	их можно включать как в низковольтные, так и в высоковольтные сети

Асинхронные машины

В каком случае обмотка возбуждения универсального коллекторного двигателя включается частично (через отпайки)?	При питании от сети постоянного тока
	При питании от сети однофазного тока
	При питании от сети трехфазного тока
	При работе двигателя на малой скорости
Во сколько раз индуктивное сопротивление обмотки ротора однофазного коллекторного двигателя для обратного тока больше, чем для прямого?	В 20 раз
	В 50 раз
	В 100 раз
	Это зависит от величины скольжения
Вращающийся магнитный поток наводит в обмотке статора трехфазного индукционного регулятора ($p = 1$) э. д. с. 100 В. В каких пределах изменяется напряжение на выходе регулятора при повороте ротора на 180° ?	50 В
	100 В
	200 В
	Напряжение на выходе регулятора не изменяется
Как изменяется пусковой момент асинхронного двигателя при уменьшении активного сопротивления обмотки ротора?	Уменьшается
	Увеличивается
	Не изменяется
	Изменяется незначительно
Напряжение, подведенное к обмотке статора асинхронного двигателя, уменьшено в 2 раза. Как изменился вращающий момент?	Не изменился
	Уменьшился в 2 раза
	Уменьшился в 4 раза
	Изменился незначительно

**Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки
в работе электрических машин**

К. п. д. генератора двигатель-генераторного агрегата равен 0,8, а к. п. д. двигателя — 0,7. Определите к. п. д. агрегата	0,8
	0,7
	0,56
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
При постоянном напряжении на входе одноякорного преобразователя скорость вращения якоря увеличилась. Как изменилось напряжение на выходе?	Увеличилось
	Не изменилось
	Уменьшилось
	Резко увеличилось
Трехфазная обмотка статора двухполюсного асинхронного двигателя преобразователя П 75 питается от сети переменного тока частотой 50 Гц. Определите скорость вращения магнитного поля статора	500 об/мин
	1500 об/мин
	3000 об/мин
	6000 об/мин
50 витков обмотки якоря образуют параллельную ветвь, сопротивление которой 0,1 Ом. Э. д. с. генератора 115 В. Найдите ток, возникающий в витке при его коротком замыкании	500 А
	1150 А
	5750 А
	57 500 А
Генератор постоянного тока с самовозбуждением не возбуждается. Напряжение на зажимах равно нулю. Укажите возможную причину неисправности	Скорость генератора меньше номинальной
	Витковые замыкания в обмотке якоря
	Не в ту сторону вращается якорь генератора
	Любая из названных выше причин

**Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки
в работе электрических машин**

Какой из недостатков не свойствен двигатель-генераторному преобразователю?	Невозможность преобразования низкого постоянного напряжения в высокое постоянное напряжение
	Значительная стоимость
	Большие габариты и масса
	Низкий к. п. д.
Какое устройство не применяется для регулирования напряжения на выходе одноякорного преобразователя?	Роостат в цепи возбуждения
	Реактивная катушка
	Автотрансформатор
	Применяются все перечисленные выше устройства
Чем обеспечивается постоянство повышенной частоты синхронно-реактивного преобразователя типа С-572?	Постоянством скорости вращения ротора
	Постоянством частоты напряжения питания первичной обмотки
	Двумя указанными выше условиями
	Частота на выходе не поддерживается постоянной
Чем вызывается вибрация электрической машины?	Магнитной асимметрией машины
	Недостаточной жесткостью фундамента
	Неуравновешенностью вращающихся частей
	Всеми указанными выше факторами
Укажите причину нормального гудения трансформатора	Несимметрия нагрузки фаз трансформатора
	Магнитострикция
	Межвитковые замыкания в обмотках
	Неплотно стянуты листы сердечника

**Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки
в работе электрических машин**

Двигатель-генераторный преобразователь можно использовать для преобразования	однофазного тока в трехфазный
	постоянного тока в переменный и переменного в постоянный
	постоянного тока низкого напряжения в постоянный ток высокого напряжения
	Можно использовать во всех перечисленных случаях
Отличительным признаком одноякорного преобразователя является наличие у одноякорной машины	коллектора
	контактных колец
	двух пар контактных колец
	коллектора и контактных колец одновременно
Какой ток протекает по серийным обмоткам стабилизирующего трансформатора преобразовательного агрегата частоты типа ПСЧ 5?	Ток нагрузки синхронного генератора частотой около 200 Гц
	Ток, потребляемый агрегатом из сети, частотой 50 Гц
	Нульсегрующий выпрямленный ток
	Постоянный выпрямленный ток
Какое из достоинств не характерно для двигатель-генераторного преобразователя?	Надежность работы
	Высокий к. п. д.
	Простота обслуживания
	Возможность плавного регулирования в широких пределах выходных величин
Укажите причину «пожара в стали» трансформатора	Нарушение изоляции обмоток
	Нарушение изоляции листов стали сердечника
	Любая из названных причин
	«Пожар в стали» возникает при одновременном нарушении изоляции обмоток и листов стали

КАРТОЧКА № 4

Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки в работе электрических машин

Можно ли использовать одноякорный преобразователь для получения а) однофазного переменного тока; б) трехфазного тока?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно
Как изменяется напряжение синхронного генератора в агрегате ПСЧ-5 при уменьшении нагрузки?	Увеличивается
	Уменьшается
	Практически не меняется
	Это зависит от характера нагрузки
Как изменяется ток на выходе силовых выпрямителей (ток возбуждения синхронного генератора) при уменьшении нагрузки генератора в преобразовательном агрегате частоты типа ПСЧ-5?	Не изменяется
	Увеличивается
	Уменьшается
	Почти не изменяется
При неизменных э. д. с. и скорости вращения синхронного генератора коэффициент мощности индуктивной нагрузки уменьшился. Как изменился нагрев синхронного генератора?	Увеличился
	Уменьшился
	Практически не изменился
	Не изменился
Какая из приведенных неисправностей не вызывает увеличения искрения под щетками генератора?	Щетки слабо прижаты к коллектору
	Неправильно выбран сорт щеток
	Оборвана цепь возбуждения генератора
	Генератор значительно перегружен

Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки в работе электрических машин

Однокорный преобразователь постоянного тока в трехфазный подключен к источнику постоянного напряжения 100 В. Определите фазное напряжение на выходе преобразователя	127 В
	100 В
	61,3 В
	33,3 В
Как изменяется частота напряжения синхронного генератора при увеличении скольжения асинхронного двигателя в агрегате ПСЧ-5?	Уменьшается
	Не меняется
	Увеличивается
	Сначала увеличивается, потом уменьшается
Трехфазная обмотка статора шестиполусного синхронного генератора преобразователя П-75 питается от сети переменного тока частотой 50 Гц. Определите скорость вращения магнитного поля статора генератора	500 об/мин
	1000 об/мин
	1500 об/мин
	3000 об/мин
Генератор постоянного тока параллельного возбуждения не возбуждается. Напряжение на зажимах составляет несколько процентов от номинального. Укажите возможную причину неисправности	Не в ту сторону вращается якорь генератора
	Полюса генератора потеряли остаточный магнетизм
	Обрыв цепи возбуждения генератора
	Щетки сдвинуты с физической нейтрали на некоторый угол
Какие явления возникают в асинхронном двигателе, если подводимое напряжение превышает номинальное?	Увеличение вращающего момента
	Ухудшение коэффициента мощности
	Увеличение потерь в стали
	Все явления, перечисленные выше

**Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки
в работе электрических машин**

К. п. д. генератора и двигателя в двигатель-генераторном агрегате равны 0,8. Определите к. п. д. агрегата	0,4
	0,8
	0,64
	0,9
Можно ли использовать одноякорный преобразователь для получения а) трехфазного тока; б) однофазного переменного тока?	Можно
	Нельзя
	а) можно; б) нельзя
	а) нельзя; б) можно
Как изменяется частота напряжения синхронного генератора при уменьшении скольжения асинхронного двигателя в агрегате ПСЧ-5?	Уменьшается
	Не меняется
	Увеличивается
	Сначала уменьшается, потом увеличивается
Какими явлениями сопровождается неправильное соединение обмоток асинхронного двигателя (одна фаза «перевернута»)?	Двигатель гудит
	Двигатель плохо запускается
	Наблюдается сильная несимметрия токов в фазах
	Всеми явлениями, указанными выше
Первичные и вторичные обмотки трехфазного трансформатора соединены по схеме «треугольник». Одна фаза вторичной обмотки оборвана. Можно ли эксплуатировать трансформатор?	Можно
	Нельзя
	Можно, если нагрузка имеет индуктивный характер
	Можно, если величина нагрузки не превышает половины номинальной нагрузки

**Вращающиеся преобразователи. Основные неполадки
в работе электрических машин**

При постоянном напряжении на входе одноякорного преобразователя скорость вращения якоря уменьшилась. Как изменилось напряжение на выходе?	Уменьшилось
	Увеличилось
	Не изменилось
	Резко уменьшилось
Какое из указанных справа достоинств не характерно для двигателя-генераторного преобразователя?	Простота обслуживания
	Надежность работы
	Высокий к. п. д.
	Возможность регулировать выходные величины плавно и в широких пределах
Какой ток протекает по включенной в сеть напряжением 380 В первичной обмотке стабилизирующего трансформатора в агрегате ПСЧ 5?	Переменный частотой 25 Гц
	Переменный частотой 50 Гц
	Переменный частотой 200 Гц
	Постоянный
Какие неполадки в работе синхронных генераторов встречаются наиболее часто?	Обрывы отдельных фаз обмотки статора
	Межвитковые замыкания в обмотке статора
	Нарушение контакта между контактными кольцами и щетками
	Нарушение нормальной работы коллектора возбуждителя
Синхронный двигатель вращается со скоростью, меньшей номинальной. Укажите возможную причину этого явления	Напряжение питания значительно меньше номинального
	Момент нагрузки на валу превышает номинальный
	Частота напряжения питания меньше номинальной
	Любая из причин, названных выше

ОБРАЗЦЫ КАРТОЧЕК ДЛЯ ВСТУПИТЕЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ

КАРТОЧКА № 1

Как изменилось сопротивление провода, если его длина и диаметр уменьшены в 2 раза?	Осталось неизменным
	Уменьшилось в 2 раза
	Увеличилось в 2 раза
	Уменьшилось в 4 раза
Определите ток короткого замыкания при условии, что э. д. с. генератора 12 В, напряжение на зажимах 11,8 В, а ток в цепи 10 А	Задача неопределенна, так как не известно внутреннее сопротивление генератора
	590 А
	600 А
	1200 А
Полным током называется	сумма токов
	сумма токов, пронизывающих поверхность
	сумма токов, пронизывающих поверхность, ограниченную контуром
	алгебраическая сумма токов, пронизывающих поверхность, ограниченную контуром
Чему равна взаимная индуктивность, если потокоцепление взаимной индукции первой катушки 0,1 В·с при токе во второй катушке 0,1 А?	0,01 Г
	0,1 Ом·с
	1 Ом·с
	100 Г

Частота переменного тока равна 50 Гц. Чему равен его период?	0,1 с
	0,2 с
	0,02 с
	0,04 с

КАРТОЧКА № 2

Как изменилась проводимость провода, если его длина и диаметр уменьшены в 3 раза?	Осталась неизменной
	Уменьшилась в 3 раза
	Увеличилась в 3 раза
	Увеличилась в 9 раз
Определите работу электрического тока в течение 1 ч при условии, что генератор при напряжении 110 В вырабатывает ток силой 10 А	1100 Вт · ч
	110 Вт · ч
	110 Вт
	11 кВт
Как изменится напряженность магнитного поля в сердечнике тороида, если при прочих неизменных условиях увеличить его длину?	Увеличится
	Не изменится
	Уменьшится
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Что подразумевается под понятием потери на гистерезис?	Энергия остаточного магнитного поля
	Энергия, необходимая для создания магнитного поля в материале
	Энергия, затрачиваемая на изменение ориентации доменов
	Энергия электромагнитного поля
Напряжение сети переменного тока 220 В. Каково максимальное напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся к клеммам сети?	220 В
	310 В
	360 В
	450 В

КАРТОЧКА № 3

Температура уменьшилась. Какое из приведенных высказываний справедливо?	Сопротивление медного провода уменьшилось
	Сопротивление угольного стержня уменьшилось
	Сопротивление электролита увеличилось
	Проводимость стального провода уменьшилась
Как изменилась мощность, отдаваемая источником, если ток в цепи увеличился в 2 раза, а напряжение источника уменьшилось в 2 раза?	Не изменилась
	Уменьшилась в 2 раза
	Увеличилась в 2 раза
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Что нужно для того, чтобы в замкнутом контуре возникла э. д. с.?	Контур должен находиться в магнитном поле
	Нужно перемещать контур в магнитном поле
	Необходимо, чтобы менялся магнитный поток, пронизывающий контур
	Необходимо, чтобы стороны контура пересекали магнитные силовые линии
Какому закону аналогично утверждение, что магнитный поток, проходящий к участку разветвления, равен сумме магнитных потоков, уходящих от этого участка?	Закопу Ома для участка цепи
	Закопу Ома для замкнутой цепи
	Первому закону Кирхгофа
	Второму закону Кирхгофа
Мощность, потребляемая электрической цепью, равна 100 Вт. Действующее значение тока в цепи 2 А. Чему равно активное сопротивление цепи?	100 Ом
	50 Ом
	25 Ом
	40 Ом

КАРТОЧКА № 4

Сопротивление нагревательного элемента равно 50 Ом. Температура возросла на 25° С. Чему стало равным его сопротивление, если температурный коэффициент сопротивления равен 0,004?	50 Ом
	100 Ом
	200 Ом
	250 Ом
Определите мощность, развиваемую генератором, если известно, что при напряжении 110 В он вырабатывает ток силой 10 А	1100 Вт
	110 кВт
	110 Вт
	Для ответа на вопрос недостаточно данных
Индуктированная электродвижущая сила	пропорциональна величине магнитного потока, пронизывающего контур
	обратно пропорциональна величине магнитного потока, пронизывающего контур
	обратно пропорциональна числу витков контура
	прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур
Укажите одно из основных достоинств цепей переменного тока по сравнению с цепями постоянного тока	Возможность передачи энергии на дальние расстояния
	Возможность изменять величину напряжения и тока при помощи трансформатора
	Возможность преобразования энергии переменного тока в тепловую энергию
Активная мощность потребителя и напряжение на его зажимах постоянны. Как изменится потребляемый ток при уменьшении коэффициента мощности в 2 раза?	Увеличится в 2 раза
	Не изменится
	Уменьшится в 2 раза
	Увеличится в 4 раза

Определите внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи, если ее э. д. с. 12 В, а при разрядном токе 10 А напряжение на зажимах 11,7 В	0,3 Ом
	0,03 Ом
	0,07 Ом
	0,1 Ом
Определите мощность, развиваемую генератором при условии, что за 1 мин он выработал $3,6 \cdot 10^6$ Дж электрической энергии	$3,6 \cdot 10^6$ Вт
	60 кВт
	600 кВт
	600 Вт
Какое электротехническое понятие принято обозначать буквой L?	Индукцию
	Электромагнитную индукцию
	Самоиндукцию
	Индуктивность
При каком напряжении целесообразно а) передавать электрическую энергию, б) потреблять электрическую энергию?	При высоком
	При низком
	а) при высоком; б) при низком
	а) при низком; б) при высоком
Активная мощность потребителя и напряжение на его зажимах постоянны. Как изменятся тепловые потери в линии электропередачи при увеличении коэффициента мощности в 2 раза?	Увеличатся в 2 раза
	Не изменятся
	Уменьшатся в 2 раза
	Уменьшатся в 4 раза

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Алексеев Г. В. Параллельная работа трансформаторов и автотрансформаторов. М.—Л., «Энергия», 1967.
- Алукер Ш. М., Васильева И. А., Расовский Э. П., Скворцов П. Ф. Электротехника в рисунках и чертежах, ч. 2. М.—Л., Госэнергоиздат, 1957.
- Андрианов В. Н., Воропаев Н. И., Дружинина Н. А., Пиконов Л. В. Практикум по электрическим машинам и аппаратам. М., «Колос», 1969.
- Важнов А. И. Электрические машины. М.—Л., «Энергия», 1969.
- Вольдек А. П. Электрические машины. М.—Л., «Энергия», 1966.
- Гемке Р. Г. Неправильности электрических машин. М.—Л., «Энергия», 1969.
- Кацман М. М. Электрические машины и трансформаторы. М., «Высшая школа», 1967.
- Кацман М. М., Юферов Ф. М. Электрические машины автоматических систем. М., «Высшая школа», 1969.
- Костенко М. П. Электрические машины. Специальная часть. М.—Л., Госэнергоиздат, 1949.
- Костенко М. П., Плотровский Л. М. Электрические машины, ч. 1. М.—Л., «Энергия», 1964.
- Костенко М. П., Плотровский Л. М. Электрические машины, ч. 2. М.—Л., «Энергия», 1965.
- Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода. М., «Колос», 1964.
- Мечас В. В. Электрические машины. М., «Высшая школа», 1967.
- Николаев С. А. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам. М., «Энергия», 1969.
- Петров Г. П. Электрические машины, ч. 1. М.—Л., Госэнергоиздат, 1956.
- Петров Г. П. Электрические машины, ч. 2. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
- Петров Г. П. Электрические машины, ч. 3. М.—Л., «Энергия», 1968.
- Плотровский Л. М. Электрические машины. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
- Поляков Н. А. Электрические машины. М.—Л., Машигиз, 1953.
- Сергеев Н. С. Электрические машины. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
- Сыромятников Н. А. Режимы работы асинхронных электродвигателей. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.
- Тарасанский М. М. Синхронно-реактивные преобразователи частоты. К., Гостехиздат УССР, 1962.
- Харитонов А. М. Многоскоростные электродвигатели. М.—Л., Госэнергоиздат, 1954.
- Электрические машины. М., изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1968.

О Г Л А В Л Е Н И Е

От авторов	3
Введение	6

Р А З Д Е Л П Е Р В Ы Й МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Г л а в а I. Принцип действия и устройство машин постоянного тока	9
§ 1. Основные законы электротехники в применении к теории электрических машин	9
§ 2. Принцип действия генератора	12
§ 3. Устройство машин постоянного тока	15
§ 4. Серии машин постоянного тока, выпускаемых заводами СССР	19
Г л а в а II. Обмотки якоря и их э. д. с.	21
§ 1. Основные элементы обмоток	21
§ 2. Простая петлевая (параллельная) обмотка	23
§ 3. Простая волновая (последовательная) двухслойная обмотка. Понятие о сложных обмотках	27
§ 4. Э. д. с. обмотки якоря	31
<i>Лабораторная работа.</i> Обмотки якорей машин постоянного тока	33
Г л а в а III. Реакция якоря	34
§ 1. Магнитное поле обмотки якоря при нагрузке	35
§ 2. Влияние реакции якоря на работу машины постоянного тока	36
Г л а в а IV. Коммутация	38
§ 1. Сущность процесса коммутации	38
§ 2. Способы улучшения коммутации	44
Г л а в а V. Генераторы постоянного тока и их характеристики	47
§ 1. Системы возбуждения генераторов. Номинальные данные электрических машин	47
§ 2. Генератор независимого возбуждения и его характеристики	49
§ 3. Генератор параллельного возбуждения и его характеристики	54
§ 4. Генератор последовательного возбуждения и его характеристики	57
§ 5. Генератор смешанного возбуждения и его характеристики	59
<i>Лабораторная работа.</i> Исследование генератора постоянного тока и снятие характеристики холостого хода	63
<i>Лабораторная работа.</i> Снятие характеристик генератора постоянного тока при нагрузке	66
Г л а в а VI. Двигатели постоянного тока	67
§ 1. Принцип действия двигателя постоянного тока	67
§ 2. Уравнение равновесия моментов	68
§ 3. Уравнение равновесия э. д. с.	71
§ 4. Двигатель параллельного возбуждения	73
§ 5. Двигатель последовательного возбуждения	76

§ 6. Двигатели смешанного возбуждения	79
<i>Лабораторная работа. Исследование двигателей постоянного тока</i>	81
Глава VII. Потери и коэффициент полезного действия машин постоянного тока	83
§ 1. Постоянные потери	83
§ 2. Переменные потери	85
§ 3. Добавочные потери	86
§ 4. Коэффициент полезного действия машин постоянного тока	87
Глава VIII. Специальные машины постоянного тока	90
§ 1. Сварочные генераторы постоянного тока	90
§ 2. Сварочный генератор с расщепленными полюсами	91
§ 3. Автотракторные генераторы и стартеры	95
<i>Лабораторная работа. Изучение устройства сварочной машины и автомобильных генераторов и стартеров</i>	99

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТРАНСФОРМАТОРЫ

Глава IX. Назначение трансформаторов и принцип их действия	100
§ 1. Назначение трансформаторов и основные определения	100
§ 2. Принцип действия трансформатора	102
Глава X. Теория однофазного трансформатора	104
§ 1. Режим холостого хода	104
§ 2. Работа трансформатора при нагрузке	108
§ 3. Режим короткого замыкания трансформатора	116
§ 4. Изменение вторичного напряжения трансформатора	121
§ 5. Коэффициент полезного действия трансформатора	125
<i>Лабораторно-практические занятия. Решение задач по трансформаторам</i>	128
Глава XI. Основные элементы конструкции трансформаторов	130
§ 1. Магнитопровод	130
§ 2. Обмотки	134
§ 3. Бак	136
§ 4. Вводы	139
§ 5. Переключатели	141
§ 6. Вспомогательная аппаратура для обслуживания и защиты трансформаторов	143
§ 7. Новые типы трансформаторов	146
Глава XII. Трехфазные трансформаторы и работа их под нагрузкой	147
§ 1. Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов	147
§ 2. Векторные диаграммы напряжений трехфазных трансформаторов при симметричной и несимметричной нагрузке	154
§ 3. Регулирование напряжения	157
§ 4. Регулирование напряжения под нагрузкой	159
<i>Лабораторная работа. Исследование трансформаторов</i>	161
Глава XIII. Параллельная работа трансформаторов	165
§ 1. Условия включения трансформаторов на параллельную работу	165
§ 2. Явления в трансформаторах при неравенстве коэффициентов трансформации	167
§ 3. Явления в трансформаторах при неодинаковых напряжениях короткого замыкания	169
§ 4. Явления в трансформаторах, принадлежащих к разным группам соединения обмоток	171
<i>Лабораторная работа. Параллельная работа трехфазных трансформаторов</i>	174

Глава XIV. Специальные типы трансформаторов	175
§ 1. Автотрансформаторы	175
§ 2. Трансформаторы для регулирования напряжения	180
§ 3. Сварочные трансформаторы	182
§ 4. Трехобмоточные трансформаторы	187
§ 5. Измерительные трансформаторы	188
<i>Лабораторная работа.</i> Изучение устройства и работы специальных типов трансформаторов	190

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Глава XV. Принцип действия и устройство синхронных генераторов	192
§ 1. Принцип действия синхронного генератора	192
§ 2. Устройство синхронных генераторов	193
Глава XVI. Обмотки машин переменного тока	197
§ 1. Основные элементы и определения	197
§ 2. Э. д. с. витка обмотки статора синхронного генератора	199
§ 3. Однофазные однослойные обмотки	201
§ 4. Трехфазные обмотки статора	205
§ 5. Магнитное поле, создаваемое обмотками	209
<i>Лабораторная работа.</i> Трехфазная двухслойная обмотка	211
Глава XVII. Способы возбуждения и схемы синхронных генераторов	211
§ 1. Синхронный генератор с машинным возбудителем	211
§ 2. Синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей	213
§ 3. Синхронный генератор с возбуждением от механического выпрямителя	215
<i>Лабораторная работа.</i> Изучение устройства и схем возбуждения синхронных генераторов	217
Глава XVIII. Реакция якоря синхронного генератора	218
§ 1. Реакция якоря при активной нагрузке	218
§ 2. Реакция якоря при индуктивной и емкостной нагрузках	220
§ 3. Влияние реакции якоря на работу синхронного генератора	221
Глава XIX. Векторные диаграммы синхронного генератора	223
§ 1. Уравнение э. д. с. и индуктивные сопротивления синхронной машины	223
§ 2. Векторная диаграмма синхронного генератора с явно выраженными полюсами	227
§ 3. Векторная диаграмма синхронного генератора с неявно выраженными полюсами	228
§ 4. Векторная диаграмма синхронного генератора с учетом насыщения стали	229
§ 5. Практическая диаграмма э. д. с.	233
§ 6. Отношение короткого замыкания	237
<i>Лабораторная работа.</i> Векторные диаграммы синхронного генератора	238
Глава XX. Внешние и регулировочные характеристики синхронного генератора	240
§ 1. Внешние характеристики синхронного генератора	240
§ 2. Регулировочные характеристики синхронного генератора	243
<i>Лабораторная работа.</i> Исследование синхронного генератора	244
Глава XXI. Параллельная работа синхронных генераторов	248
§ 1. Условия включения на параллельную работу синхронных генераторов	248

§ 2. Способы включения синхронных генераторов на параллельную работу	251
§ 3. Параллельная работа синхронных генераторов на мощную сеть	254
§ 4. Колебания при параллельной работе синхронных машин	259
<i>Лабораторная работа. Включение синхронных генераторов на параллельную работу</i>	261

Глава XXII. Синхронные двигатели и компенсаторы 264

§ 1. Принцип действия синхронного двигателя	264
§ 2. Рабочие характеристики синхронного двигателя	267
§ 3. Пуск синхронных двигателей	268
§ 4. Новые типы синхронных машин	272
§ 5. Синхронный компенсатор	277
§ 6. Потери и к. п. д. синхронной машины	280
§ 7. Реактивный синхронный двигатель	283

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Глава XXIII. Принцип действия и устройство асинхронных машин 285

§ 1. Принцип действия асинхронного двигателя	285
§ 2. Устройство асинхронных двигателей	287

Глава XXIV. Рабочий процесс трехфазного асинхронного двигателя 293

§ 1. Асинхронный двигатель при неподвижном роторе	293
§ 2. Асинхронный двигатель при вращающемся роторе	295
§ 3. Векторная диаграмма асинхронного двигателя при нагрузке	298

Глава XXV. Вращающий момент асинхронного двигателя 300

§ 1. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя	300
§ 2. Уравнения вращающего момента асинхронного двигателя	303
§ 3. Рабочие характеристики асинхронного двигателя	308
<i>Лабораторная работа. Решение задач по асинхронным двигателям</i>	310

Глава XXVI. Асинхронные генераторы 311

§ 1. Асинхронный генератор с возбуждением от сети	311
§ 2. Асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением	313
<i>Лабораторная работа. Исследование асинхронных генераторов</i>	316

Глава XXVII. Пуск в ход и регулирование скорости трехфазных асинхронных двигателей 318

§ 1. Прямой пуск в ход трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей	318
§ 2. Пуск в ход короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении сети	320
§ 3. Пуск в ход асинхронных двигателей с фазным ротором	322
§ 4. Регулирование скорости асинхронных двигателей	325
§ 5. Изменение направления вращения и торможение асинхронных двигателей	328
<i>Лабораторная работа. Исследование асинхронных двигателей</i>	330

Глава XXVIII. Асинхронные короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми свойствами 333

§ 1. Двигатель с двойной беличьей клеткой	333
§ 2. Двигатель с глубоким пазом	335

Глава XXIX. Индукционные регуляторы и фазорегуляторы 337

§ 1. Трехфазный индукционный регулятор	337
§ 2. Однофазный индукционный регулятор	340

§ 3. Фазорегулятор	344
<i>Лабораторная работа. Исследование пидукционного регулятора</i>	342
Г л а в а XXX. Однофазные асинхронные двигатели	343
§ 1. Принцип действия однофазного асинхронного двигателя	343
§ 2. Использование трехфазных двигателей в качестве однофазных	347
§ 3. Однофазный двигатель с расщепленными полюсами	350
Г л а в а XXXI. Однофазные коллекторные двигатели последовательного возбуждения	352
§ 1. Принцип действия однофазного коллекторного двигателя	352
§ 2. Векторная диаграмма однофазного коллекторного двигателя	354
§ 3. Универсальные коллекторные двигатели	355
§ 4. Пуск в ход и регулирование скорости коллекторных двигателей	356
<i>Лабораторная работа. Изучение устройства и работы однофазных двигателей</i>	357

Р А З Д Е Л П Я Т Ы Й

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Г л а в а XXXII. Двигатель-генератор и одноякорный преобразователь	359
§ 1. Двигатель-генератор	359
§ 2. Одноякорный преобразователь	359
Г л а в а XXXIII. Вращающиеся преобразователи частоты	363
§ 1. Преобразовательные агрегаты частоты типа ПСЧ-5	363
§ 2. Асинхронный преобразователь частоты тока типа И-75	365
§ 3. Синхронно-реактивный преобразователь частоты тока типа С-572	368
<i>Лабораторная работа. Изучение устройства и исследование вращающихся преобразователей</i>	370

Р А З Д Е Л Ш Е С Т О Й

ОСНОВНЫЕ НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 1. Неполадки, общие для всех видов электрических машин	371
§ 2. Основные неполадки в работе генераторов постоянного тока	375
§ 3. Основные неполадки в работе трансформаторов	377
§ 4. Основные неполадки в работе синхронных машин	381
§ 5. Основные неполадки в работе асинхронных двигателей	382
§ 6. Работа асинхронных двигателей в ненормальном режиме	383
Консультации	387
Образцы карточек для проверки готовности учащихся к выполнению лабораторных работ	447
Образцы карточек для проверки знаний учащихся по основным разделам	478
Образцы карточек для вступительной проверки	517
Л и т е р а т у р а	522

*Данилов Павел Александрович
и Лотоцкий Константин Васильевич*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. М., «Колос», 1972.

527 с. с илл. (Учебники и учеб. пособия для с.-х. техникумов).

УДК 631.371 : 621.313(075.8)

Редактор *И. С. Сороко*. Художественный редактор *М. Я. Волкова*. Технический редактор *Г. Б. Славнова*. Корректор *В. М. Русинава*.

Сдано в набор 11/1 1972 г. Подписано в печати 16/V 1972 г. Т04785. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 3. Печ. л. 33. Ул.-пзд. л. 35,92. Изд. № 180. Т. п. 1972 г. № 266. Тираж 45 000 экз. Заказ № 140. Цена 1 р. 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Колос»,
Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» им. А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР,
г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.